

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**



# **Melhoria da eficiência energética na Escola Secundária Fontes Pereira de Melo**

**João Carlos Pinho da Fonseca Mourinho**

PARA APRECIÇÃO POR JÚRI

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Co-orientador: Engenheiro Fernando Ferreira Ramos

27 de Junho de 2016



# Resumo

Um dos maiores desafios colocados à sociedade, a nível mundial, hoje em dia é a gestão eficiente dos recursos energéticos. Devido ao grande desenvolvimento económico nos países houve a necessidade de usar a energia a partir de recursos de origem fóssil e isso levou a grandes alterações climáticas a nível mundial que podemos sentir no nosso dia a dia. Esses recursos naturais tem natureza finita e um grande impacto ambiental o que levou a sociedade a mudar o comportamento na utilização da energia.

Nesta presente dissertação verifica-se a possibilidade de otimizar as condições de eficiência energética dos sistemas de iluminação, AVAC e sistema tarifário da Escola Secundaria Fontes Pereira de Melo e verifica-se também a possibilidade de instalação de novos recursos.

Inicialmente foi realizada uma análise ao tarifário de eletricidade utilizado na escola de modo a verificar se é possível obter uma redução no custo. De seguida foi realizada uma análise às condições atuais de iluminação existentes, através do software Dialux e também da utilização do luxímetro, de modo a analisar se existem melhorias que possam ser implementadas.

Quanto à climatização verificou-se as condições atuais de operação dos equipamentos, percebendo-se se o seu funcionamento se encontra ajustado em consonância com a dinâmica das instalações. Por fim foi estudado a implementação de um projeto fotovoltaico no telhado de um dos edifícios com o objetivo de produzir energia para uso das necessidades da escola, originando uma redução na compra de energia à rede. Para todas as análises, caso existam melhorias sugere-se a implementação das mesmas.

Palavras-chave: climatização, eficiência energética, escola, iluminação, tarifário de eletricidade, projeto fotovoltaico





# Abstract

One of the greatest challenges to society at a global level, today, is the efficient management of the resources of energy. Due to the great economic development in the countries there was a need to use energy from fossil resources and this has led to major climate changes at a world level which we can feel in our day to day. These natural resources have finite nature and a great environmental impact which led the society to change the behavior in the use of energy.

In this present work there is the possibility of optimizing the conditions of efficiency energy of lighting systems, HVAC and tariff system of Secondary School Fontes Pereira de Melo and also notes the possibility of installing new resources.

Initially an analysis was performed to the electricity tariff used in the school to see if is possible to get a reduction in the cost. Then an analysis was performed to the current conditions of existing lighting, to analyze if improvements exist and can be implemented.

Then an analysis was performed to the current conditions of existing lighting, using Dialux software and also using of the light meter, to see if improvements can be implemented.

Checked the current air-conditioning system was realized that his functioning is adjusted in harmony with the dynamic of the installations. Finally it has been studied to implement a design PV on the roof of one of the buildings in order to produce energy for the needs of the school that results in a reduction in network power purchase. For all analyzes, if there is any improvement, it is suggested to be implemented.

Keywords: air conditioning, energy efficiency, school, lighting, electricity tariff, photovoltaic project



# Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com importantes incentivos e apoios, sem os quais não se teria tornado possível a sua conclusão e aos quais estarei eternamente agradecido.

Muito especialmente, desejo agradecer ao meu orientador Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, pela disponibilidade, confiança depositada em mim, atenção dispensada, paciência, dedicação e profissionalismo. Muito obrigado por tudo.

Ao meu co-orientador, Engenheiro Fernando Ferreira Ramos pela oportunidade que me deu de realizar esta dissertação num ambiente empresarial, mais propriamente na empresa Manvia.

Ao Engenheiro Nuno Pereira, pela sua disponibilidade, cooperação, pelo seu apoio e informações fornecidas durante a realização da dissertação.

Ao Engenheiro Nuno Fernandes pela ajuda e apoio durante a realização da dissertação.

À minha família, em particular, aos meus pais por serem exemplos de força, pelo seu total apoio e amizade. A eles dedico este trabalho.

Aos meus amigos, que sempre estiveram do meu lado, tanto nos bons como nos maus momentos.

Ao meu amigo e colega de trabalho na Manvia Ricardo Gouveia, que ao longo destes 6 meses me ajudou a superar os objetivos desta dissertação.

Aos meus colegas de mestrado, do ténis e do ginásio, pelos bons momentos de entusiasmo partilhados em conjunto.

João Carlos Pinho da Fonseca Mourinho



*‘A mente que se abre a uma nova ideia,  
jamais volta ao seu tamanho inicial’*

ALBERT EINSTEIN



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos	1
1.2	Estrutura da Dissertação	2
1.3	Ferramentas Utilizadas	3
1.4	Parque Escolar	3
1.5	Manvia	3
<b>2</b>	<b>Energia</b>	<b>7</b>
2.1	Panorama Energético Mundial	7
2.1.1	População Mundial	7
2.1.2	Consumo Energia	9
2.2	Panorama Energético Nacional	11
2.3	Desenvolvimento sustentável	14
<b>3</b>	<b>Iluminação</b>	<b>17</b>
3.1	Grandezas Luminotécnicas	17
3.1.1	Fluxo Luminoso	17
3.1.2	Intensidade Luminosa	18
3.1.3	Iluminância	18
3.1.4	Iluminância Média	19
3.1.5	Luminância	19
3.2	Lâmpadas	20
3.2.1	Lâmpadas Incandescentes	21
3.2.2	Lâmpadas de descarga	22
3.2.3	Lâmpadas de indução	27
3.2.4	Lâmpadas LED	28
3.2.5	Análise do rendimento luminoso das lâmpadas	28
3.2.6	Comparação Final entre todos os tipos de lâmpadas mencionadas	29
3.2.7	Classes de Eficiência das Lâmpadas	30
3.3	Luminárias	32
3.4	Balastros Eletrônicos	32
3.4.1	Tipo de balastros eletrônicos	33
3.5	Gestão de iluminação	34
3.5.1	Gestão Horária	35
3.5.2	Deteção de presença e movimento	35
3.5.3	Gestão em função da luz natural	36

<b>4</b>	<b>AVAC</b>	<b>39</b>
4.1	Caracterização de Instalação e Sistema de AVAC	39
4.1.1	Sistemas de Ventilação	40
4.1.2	Equipamentos das Instalações de AVAC	40
<b>5</b>	<b>Sistema Tarifário em Portugal</b>	<b>43</b>
5.1	Liberalização do Setor	43
5.1.1	Modelos Tarifários	44
5.2	Tarifários	46
5.2.1	Componentes Tarifárias	46
5.2.2	Tipos de Ciclo	46
5.2.3	Tarifas Transitórias em rede MT para Portugal Continental	48
<b>6</b>	<b>Sistemas de aproveitamento de energia solar</b>	<b>51</b>
6.1	Sistema Solar Térmico	51
6.2	Sistema Fotovoltaico	52
6.3	Energia Fotovoltaica Mundial e em Portugal	52
6.4	Componentes de um sistema fotovoltaico	55
6.4.1	Painel Solar	56
6.4.2	Controlador de Carga	57
6.4.3	Bateria	57
6.4.4	Inversor	57
<b>7</b>	<b>Caracterização do Sistema Atual</b>	<b>59</b>
7.1	Identificação e Caracterização do Edifício	59
<b>8</b>	<b>Caso de Estudo</b>	<b>67</b>
8.1	Análise da Fatura de Energia Elétrica	67
8.2	Sistemas de Iluminação	70
8.2.1	Inventário da Iluminação existente	71
8.2.2	Bloco A1	71
8.2.3	Bloco A2	72
8.2.4	Bloco A3	72
8.2.5	Bloco A4	73
8.2.6	Avaliação da qualidade da iluminação atual	73
8.2.7	Condições para avaliação da qualidade da iluminação atual	75
8.2.8	Redução de Potência	75
8.2.9	Poupança anual obtida	87
8.2.10	Estudo com tarifa Endesa	88
8.2.11	Estudo das Soluções LED	89
8.2.12	Conclusão sobre implementação de Leds	92
8.2.13	Estudo implementação sensores de presença e crepusculares	92
8.2.14	Conclusão final sobre instalação de sensores	95
8.2.15	Consciencialização das pessoas	96
8.3	Projeto Fotovoltaico de Auto Consumo	97
8.3.1	Localização Geográfica e estudo da orientação e inclinação	97
8.3.2	Avaliação do recurso solar no local da instalação	99
8.3.3	Painéis Solares	100
8.3.4	Inversor	104



8.3.5	Configuração do sistema fotovoltaico . . . . .	105
8.3.6	Dimensionamento dos cabos e proteções . . . . .	107
8.3.7	Análise da Rentabilidade obtida . . . . .	115
8.3.8	Lucro e Payback . . . . .	118
8.4	Projeto Fotovoltaico de Pequena Produção (UPP) . . . . .	119
8.4.1	Comparação entre os dois sistemas fotovoltaicos desenvolvidos . . . . .	121
8.4.2	Manutenção . . . . .	121
8.5	Sistemas de AVAC . . . . .	122
8.5.1	Situação Atual . . . . .	122
8.5.2	Setpoints . . . . .	125
<b>9</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>127</b>
<b>A</b>	<b>Anexo1</b>	<b>131</b>
A.1	Iluminação . . . . .	131
<b>B</b>	<b>Anexo2</b>	<b>139</b>
B.1	Tarifas . . . . .	139
<b>C</b>	<b>Anexo3</b>	<b>143</b>
	<b>Referências</b>	<b>147</b>



# Lista de Figuras

1.1	Timeline do crescimento da empresa Manvia . . . . .	4
2.1	Mapa da densidade populacional no mundo em 2014 . . . . .	8
2.2	Projeção densidade populacional no mundo em 2100 [1] . . . . .	8
2.3	Evolução do Consumo de Energia entre 2000 e 2015[2] . . . . .	9
2.4	Consumo Mundial de Energia . . . . .	9
2.5	Consumo Mundial de Energia [3] . . . . .	10
2.6	Matriz Energética Mundial entre 2010 e 2040 . . . . .	11
2.7	Evolução da taxa de dependência energética, entre 2005 e 2016 . . . . .	12
2.8	Dependência Energética na UE-28 em 2013 [4] . . . . .	12
2.9	Comparação da Intensidade energética nacional em relação aos outros países da UE [4] . . . . .	12
2.10	Cenário de evolução do consumo de Energia Primária em Portugal [5] . . . . .	13
2.11	Produção de energia renovável [6] . . . . .	13
2.12	Esquema dos princípios do Desenvolvimento Sustentável . . . . .	14
3.1	Fluxo Luminoso . . . . .	18
3.2	Intensidade Luminosa . . . . .	18
3.3	Iluminância . . . . .	19
3.4	Luminância . . . . .	20
3.5	Lâmpada incandescente de filamento . . . . .	21
3.6	Lâmpada Halogéneo . . . . .	22
3.7	Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão . . . . .	23
3.8	Lâmpada de luz mista . . . . .	24
3.9	Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão . . . . .	24
3.10	Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos . . . . .	25
3.11	Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão . . . . .	25
3.12	Classificação e diâmetro das lâmpadas fluorescentes . . . . .	26
3.13	Lâmpada fluorescente compacta . . . . .	27
3.14	Lâmpada de indução . . . . .	27
3.15	Exemplo de lâmpadas LED . . . . .	28
3.16	Gráfico comparativo do rendimento luminoso para cada lâmpada [7] . . . . .	29
3.17	Etiqueta de eficiência energética da lâmpada [8] . . . . .	31
3.18	Comparação da poupança de energia obtida entre os balastros eletrónicos simples ou associados a outros dispositivos [9] . . . . .	34
3.19	Facetas de um detetor de infravermelhos passivo . . . . .	36
3.20	Exemplo de uma ligação com comando on/off . . . . .	36
4.1	Classificação geral dos sistemas das instalações de tratamento de ar . . . . .	39

5.1	Processo de liberalização do mercado de electricidade . . . . .	44
5.2	Evolução das tarifas de venda a Clientes Finais em Portugal Continental . . . . .	44
5.3	Modelo Regulado . . . . .	44
5.4	Modelo Liberalizado . . . . .	45
5.5	Períodos horários para ciclo diário . . . . .	47
5.6	Períodos horários para ciclo semanal opcional . . . . .	47
5.7	Períodos horários para ciclo semanal . . . . .	48
5.8	Tarifas transitórias de venda a clientes finais em Portugal continental em 2016 publicadas pela ERSE . . . . .	49
6.1	Crescimento da produção Solar Fotovoltaica entre 2004 e 2014 [10] . . . . .	53
6.2	Percentagem de crescimento de cada país referente ao Fotovoltaico em 2014 [10] . . . . .	53
6.3	Insolação anual em Portugal . . . . .	55
6.4	Constituintes de um Sistema Fotovoltaico [11] . . . . .	56
7.1	Localização geográfica do edifício . . . . .	59
7.2	Escola Secundária Fontes Pereira de Melo . . . . .	60
8.1	Valores faturados entre Maio de 2015 e Abril de 2016 . . . . .	68
8.2	Gráfico dos valores faturados . . . . .	68
8.3	Decomposição da energia faturada por cada período tarifário . . . . .	69
8.4	Custo do consumo de energia da Escola pela EDP . . . . .	69
8.5	Custo do consumo de energia da Escola pela empresa Endesa e pela Iberdrola . . . . .	69
8.6	Custo do consumo de energia com o contrato atual . . . . .	70
8.7	Comparação dos valores de custo anual das diferentes empresas . . . . .	70
8.8	Lâmpadas instaladas no bloco A1 . . . . .	71
8.9	Lâmpadas instaladas no bloco A2 . . . . .	72
8.10	Lâmpadas instaladas no bloco A3 . . . . .	72
8.11	Lâmpadas instaladas no bloco A4 . . . . .	73
8.12	Exemplo da visualização 3D no Dialux . . . . .	75
8.13	Distribuição da iluminação do corredor de circulação . . . . .	76
8.14	Distribuição da iluminação do corredor de circulação . . . . .	76
8.15	Distribuição da iluminação na Sala de Aula . . . . .	78
8.16	Distribuição da iluminação na Sala de bufete . . . . .	79
8.17	Distribuição da iluminação na Sala de bufete com redução de potência . . . . .	79
8.18	Distribuição da iluminação do refeitório . . . . .	80
8.19	Distribuição da iluminação do refeitório após a realização do estudo de redução de potência . . . . .	80
8.20	Distribuição da iluminação nas Instalações Técnicas Avac . . . . .	81
8.21	Distribuição da iluminação na Sala de Informática . . . . .	82
8.22	Distribuição da iluminação na Sala de Informática após as soluções propostas . . . . .	82
8.23	Distribuição da iluminação do estúdio multimédia . . . . .	83
8.24	Distribuição da iluminação do estúdio multimédia após a realização da redução de potência . . . . .	84
8.25	Distribuição da iluminação na secretaria . . . . .	84
8.26	Distribuição da iluminação na secretaria após a redução de potência . . . . .	85
8.27	Distribuição da iluminação do posto de trabalho . . . . .	85
8.28	Distribuição da iluminação do posto de trabalho após a realização da redução de potência . . . . .	86

8.29	Distribuição da iluminação no bloco A7 . . . . .	87
8.30	Comparação dos custos anuais atual e proposto dos espaços estudados . . . . .	87
8.31	Poupança obtida em cada bloco da escola durante 1 ano . . . . .	88
8.32	Comparação de preços finais da iluminação na Escola . . . . .	89
8.33	Comparação de preços finais . . . . .	89
8.34	Distribuição da iluminância utilizando LEDS . . . . .	90
8.35	Distribuição da iluminância utilizando LEDS . . . . .	91
8.36	Sensor de movimento escolhido . . . . .	93
8.37	Imagem de sensibilização referente ao dia mundial da energia . . . . .	96
8.38	Imagem de sensibilização usada na Manvia . . . . .	96
8.39	Exemplo de Auto Consumo . . . . .	97
8.40	Local da instalação . . . . .	98
8.41	Local da instalação . . . . .	98
8.42	Comparação entre a irradiação no local com plano horizontal e com ângulo ótimo (36 graus). . . . .	99
8.43	Altura do painel com inclinação de 36° . . . . .	103
8.44	Distância entre fileiras . . . . .	104
8.45	Dados fornecidos pelo inversor (catálogo do fabricante) . . . . .	105
8.46	Pico máximo de consumo da escola . . . . .	106
8.47	Esboço do modo de aplicação das strings no telhado do bloco A5 da Escola Fontes Pereira de Melo . . . . .	106
8.48	Janela de dimensionamento dos inversores . . . . .	107
8.49	Características dos cabos DC . . . . .	108
8.50	Dimensionamento dos cabos DC no programa Sunny Design 3 . . . . .	109
8.51	Fusível do fabricante Hager . . . . .	110
8.52	Formula para a verificação da queda de tensão . . . . .	112
8.53	Dimensionamento dos cabos AC desde o inversor até ao armário de distribuição no programa Sunny Design 3 . . . . .	113
8.54	Dimensionamento dos cabos AC desde o AD até ao QGBT no programa Sunny Design 3 . . . . .	113
8.55	Desenho final . . . . .	114
8.56	Projeto final . . . . .	116
8.57	Consumo de energia com autoconsumo . . . . .	116
8.58	Produção Mensal estimada dos painéis em kWh . . . . .	116
8.59	Produção Mensal dos painéis em kWh . . . . .	117
8.60	Comparação de custos com Upac e sem Upac . . . . .	118
8.61	Crescimento do valor da eletricidade em kWh . . . . .	118
8.62	Gráfico que demonstra o lucro obtido . . . . .	119
8.63	Gráfico que demonstra o lucro obtido . . . . .	120
8.64	Rooftop existente na escola . . . . .	123
8.65	Utans existente na escola . . . . .	123
8.66	VRV existente na escola . . . . .	124
8.67	Chiller existente na escola . . . . .	124
A.1	Certificado de calibração do luxímetro - pag.1 . . . . .	131
A.2	Certificado de calibração do luxímetro - pag.2 . . . . .	132
A.3	Certificado de calibração do luxímetro - pag.3 . . . . .	133
A.4	Folha de caraterísticas do painel utilizado . . . . .	134
A.5	Folha de caraterísticas do inversor utilizado . . . . .	135

A.6	Níveis de iluminação médio . . . . .	136
A.7	Níveis de iluminação média . . . . .	137
B.1	Proposta de venda de energia da empresa Endesa . . . . .	140
B.2	Resultados dos calculos efetuados . . . . .	141
C.1	Carateristicas das caldeiras pag 1 . . . . .	144
C.2	Carateristicas das caldeiras pag 2 . . . . .	145
C.3	Carateristicas das caldeiras pag 3 . . . . .	146

# Lista de Tabelas

3.1	Classificação de Temperatura de Cor . . . . .	20
3.2	Restituição de verdadeira cor ao objeto iluminado . . . . .	20
3.3	Quadro resumo comparativo entre lâmpadas . . . . .	30
3.4	Classe de Eficiência de cada lâmpada . . . . .	31
6.1	Valores da Produção Fotovoltaica Mundial entre 2005 e 2014 . . . . .	54
7.1	Piso 0 do Bloco A1 . . . . .	60
7.2	Piso 1 do Bloco A1 . . . . .	61
7.3	Piso 2 do Bloco A1 . . . . .	61
7.4	Piso 2 do Bloco A2 . . . . .	62
7.5	Piso 1 do Bloco A2 . . . . .	62
7.6	Piso 0 do Bloco A2 . . . . .	63
7.7	Piso 2 do Bloco A3 . . . . .	63
7.8	Piso 1 do Bloco A3 . . . . .	64
7.9	Piso 0 do Bloco A3 . . . . .	64
7.10	Piso 0 do Bloco A4 . . . . .	65
7.11	Piso 0 do Bloco A6 . . . . .	65
7.12	Piso 0 do Bloco A7 . . . . .	65
7.13	Piso 0 do Bloco A8 . . . . .	65
8.1	Consumo Anual da solução atual e da nova solução . . . . .	76
8.2	Análise da viabilidade económica da solução proposta . . . . .	77
8.3	Consumo anual de um corredor . . . . .	77
8.4	Análise da viabilidade económica da solução proposta . . . . .	77
8.5	Análise da viabilidade económica da solução proposta . . . . .	77
8.6	Análise da viabilidade económica da solução proposta . . . . .	77
8.7	Análise da viabilidade económica da solução proposta para o bufete . . . . .	79
8.8	Análise da viabilidade económica da solução proposta para o refeitório . . . . .	81
8.9	Análise da viabilidade económica da solução proposta . . . . .	81
8.10	Análise da viabilidade económica da solução proposta da sala informática . . . . .	83
8.11	Análise da viabilidade económica da solução proposta para o estúdio multimédia . . . . .	83
8.12	Análise da viabilidade económica da solução proposta para a secretaria . . . . .	85
8.13	Análise da viabilidade económica da solução proposta para o posto de trabalho . . . . .	86
8.14	Análise da viabilidade económica da solução proposta para a sala de tic . . . . .	90
8.15	Análise da viabilidade económica da solução proposta para a sala informática . . . . .	91
8.16	Análise da viabilidade económica da solução proposta para uma sala . . . . .	92
8.17	Análise da viabilidade de instalação de sensores presença . . . . .	94
8.18	Análise da viabilidade de instalação de sensores presença . . . . .	94

8.19	Análise da viabilidade de instalação de sensores presença . . . . .	94
8.20	Análise da viabilidade de instalação de sensores na escola . . . . .	95
8.21	Características elétricas dos painéis solares de 250W da Mprime . . . . .	101
8.22	Lista de material necessário, respetivo preço e valor do investimento necessário .	115
8.23	Análise do consumo anual . . . . .	117
8.24	Análise dos cash-flows correspondentes ao período de vida útil do projeto . . . .	119
8.25	Comparação entre os dois sistemas fotovoltaicos desenvolvidos . . . . .	121
9.1	Investimentos e Poupanças das áreas de atuação . . . . .	128





# Abreviaturas e Símbolos

GEE	Gases com Efeitos de Estufa
GW	Gigawatts
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CAD	Computer-Aided Design
Uni	Unidade
GTC	Gestão Técnica Centralizada
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
LED	Light emitter diode elit. Sed vehicula lorem commodo dui
AC	Alternating Current
AT	Alta tensão
BTE	Baixa tensão especial
BTN	Baixa tensão normal
CA	Corrente Alternada
CAD	Computador aided design
CC	Corrente Continua
DALI	Digital Addressable lighting interface
DC	Direct Current
EIB	European installation bus
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EU	European Union
FER	Fontes de energia renováveis
GEE	Gases efeitos de estufa
GES	Grandes edifícios de serviços
IES	Illuminating Engineering Society
IRC	Índice de restituição de cor
IVA	Imposto sobre valor acrescentado
LED	Light emitting diode
MAT	Muito alta tensão
MPPT	Maximum Power Point Tracker
MT	Media tensão
nZEB	Nearly zero energy bulding
PCE	Pré-certificado energético
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
PNAEE	Plano nacional de acção para eficiência energética
RECS	Regulamento de Desempenho Energético d Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RESP	Rede elétrica de serviço público
SCE	Sistema de certificação energética
UE	União Europeia
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidade Pequena Produção
WWW	<i>World Wide Web</i>

# Capítulo 1

## Introdução

“Deixem-me citar o recurso mais escasso de todos: tempo. Estamos a ficar sem tempo. Tempo para combater os impactes das alterações climáticas. Tempo para assegurar um crescimento verde, sustentável e climaticamente resiliente. Tempo para gerar uma revolução de energia limpa. . . Precisamos dessa revolução. De pensamento revolucionário. De acção revolucionária. Uma revolução de mercados livres para que seja atingida a sustentabilidade à escala mundial.” Ban Ki-Moon, 2011

Ao longo destes últimos anos, o consumo da energia elétrica mundial tem aumentado gradualmente, crescendo em média 2,3% ao ano. Este consumo tem sido satisfeito principalmente recorrendo aos combustíveis fósseis, tais como o petróleo, o carvão e o gás natural. Estes três representam um total de 87% da energia primária do mundo.[12]

Este consumo crescente de energia utilizando combustíveis fósseis reflete-se de uma forma negativa tanto pelo facto de a humanidade consumir estas fontes a uma altíssima velocidade, originando a que a Natureza não tenha possibilidade de os repor devido ao elevado número de anos que são necessários para a sua formação, como também no meio ambiente, sendo que estes recursos são os maiores causadores dos gases com efeito de estufa, facto que contribui largamente para o aquecimento global e por consequente para as alterações climáticas.

Perante este cenário, a resposta encontrada pelo Conselho Europeu para os problemas ambientais foi a criação da estratégia "Meta 20-20-20" no sentido de alcançar uma redução de 20% da emissão dos Gases com efeito de estufa, um decréscimo em 20% do consumo de energia através do aumento da eficiência energética e por fim o aumento de 20% da energia consumida de fontes renováveis, que visam ser alcançadas em 2020.[13]

A resolução destas medidas irá criar a nível mundial uma economia "respeitadora do clima" e no que concerne a Portugal irá torná-lo um país energeticamente eficiente e independente, ou seja, um país competitivo.

### 1.1 Objetivos

É objeto de estudo nesta dissertação a escola secundária Fontes Pereira de Melo.

O objetivo desta dissertação é analisar detalhadamente as condições de eficiência energética e identificar o potencial de medidas que promovam a utilização da energia de uma forma mais racional, bem como potenciar ao máximo a eficiência energética.

Pretende-se também realizar uma análise económica das propostas de intervenção a fim de perceber a relação custo / benefício da aplicação das medidas de reabilitação estudadas para o edifício. Para esta análise pretende-se realizar a estimativa da poupança energética proporcionada por cada intervenção mediante o consumo energético e o custo do investimento, em ordem a avaliar se é ou não justificável a sua execução, tendo sempre em consideração o período de retorno do investimento.

O trabalho realizado engloba os seguintes objetivos:

- Levantamento e caracterização dos sistemas de iluminação instalados no edifício;
- Estudo da iluminância média, com a ajuda do software Dialux, realizando o estudo dos níveis de iluminação com os sistemas instalados atualmente, para a generalidade da diferente tipologia de espaços (salas de aulas, salas administrativas, biblioteca, circulações, etc.) e comparar os valores obtidos com os níveis recomendados para esses espaços e com os valores medidos pelo luxímetro;
- Verificação do tarifário de eletricidade utilizado e respetivo horário, através da análise das faturas existente referentes ao ano letivo de 2015/2016, e consequentemente avaliar o fornecedor de energia mais económico;
- Diminuição da dependência energética (vertente elétrica) via mini-produção, através do estudo de viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico;
- Levantamento e caracterização dos sistemas de AVAC instalados no edifício escolar e verificar se os equipamentos utilizados são eficientes e se os períodos de funcionamento estão ajustados;
- Propor as medidas a serem tomadas, de forma a maximizar a eficiência energética e garantir o conforto e bem estar dos utilizadores.

## 1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em capítulos distintos. Após este capítulo 1 ela é dividida da seguinte forma:

No capítulo 2, surge o enquadramento energético atual, a nível nacional e mundial e onde é também analisada a utilização racional da energia.

No capítulo 3, surge uma análise aos sistemas de iluminação existentes.

No capítulo 4 são analisados os Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.

No capítulo 5 faz-se um ponto de situação nos atuais tarifários da venda de eletricidade e a sua relação com os ciclos horários.

No capítulo 6 são estudados os sistemas de aproveitamento de energia solar, focando sobre o sistema fotovoltaico.

No capítulo 7 são caracterizados os edifícios presentes na escola.

O capítulo 8 é dedicado ao caso de estudo, aqui são apresentados, analisados e sinteticamente discutidos os resultados obtidos. É ainda apresentada uma proposta de política de promoção à eficiência energética.

No capítulo 9 são apresentadas as conclusões sobre o trabalho realizado, assim como expostas perspectivas de trabalho futuro.

### 1.3 Ferramentas Utilizadas

As principais ferramentas utilizadas nesta dissertação foram:

Excel- Ferramenta para a obtenção de gráficos e cálculos

AutoCad- software que permite a projeção de plantas completas do edifício

Dialux- software destinado ao cálculo de iluminação do edifício.

Sunny Design 3- software utilizado para o estudo da implementação de painéis fotovoltaicos.

### 1.4 Parque Escolar

A Parque Escolar, EPE, fundada em 2007 e sediada na Avenida Infante Santo, Lisboa, é uma empresa pública que tem o objetivo de requalificar várias escolas secundárias do país melhorando a qualidade das mesmas. O Estado, ao criar esta empresa, viu assim uma oportunidade para relançar economicamente o sector da construção, contribuindo ao mesmo tempo para a melhoria da qualidade de ensino dos seus cidadãos. [14] A intervenção das escolas tem como objecto principal a requalificação do espaço de ensino com a adequação das infra-estruturas às novas tecnologias de informação e comunicação, ao desenvolvimento dos espaços laboratoriais, modernização de espaços comuns como bibliotecas, cantinas, pavilhões, auditórios, etc. Para além disso, foram melhoradas as condições de conforto e habitabilidade, garantindo-se a melhoria em aspectos como a qualidade do ar, isolamento térmico, isolamento acústico e acessibilidade de forma a cumprirem com a legislação em vigor. Ao todo, foram já intervencionadas 167 escolas por todo o país. As escolas por serem infra-estruturas com grandes áreas de implantação e por terem um elevado número de pessoas, tendem a apresentar necessidades energéticas elevadas. Estas necessidades aumentaram significativamente após a intervenção da Parque Escolar, de forma a cumprirem os requisitos legais de conforto térmico e qualidade de ar interior, tornando os custos operacionais de funcionamento significativamente superiores aos anteriormente observados. Este aumento fomentou o interesse pela análise de medidas de eficiência energética que visassem a diminuição do consumo de energia e consequentes gastos, sobretudo no atual contexto de restrições económico-financeiras que o país atravessa. [15]

### 1.5 Manvia

A Manvia (manutenção e exploração de instalações e construções) foi criada em 1992 e iniciou a sua atividade em 1998 e durante o ano 2000, a Manvia foi integrada no grupo Mota-Engil, o que

originou que ela tenha uma nova colocação no mercado de manutenção.

Recuando um pouco na história, podemos constatar que em meados da década de 1990, o negócio da manutenção em Portugal ainda não se encontrava devidamente estruturado e foi graças à Manvia que aconteceu o desenvolvimento deste negócio. Podemos afirmar que a Manvia foi a principal dinamizadora deste desenvolvimento.

A sua afirmação decorreu entre 2006 e 2012, quando esta empresa atravessou um período de grande evolução, verificando um crescimento bastante significativo, rondando uma média de 19% por ano, o que demonstra bem a sua crescente afirmação no mercado.

Hoje em dia podemos afirmar que a Manvia é uma empresa de referência na prestação de serviços de manutenção em Portugal, e com uma presença crescente em diversos mercados internacionais. É uma empresa que tem obtido um crescimento gradual e sustentado ao longo dos seus mais de 15 anos de história. Tem como objetivo ser uma referência tanto no mercado nacional, como no internacional, baseando-se na sua competência e grande capacidade de resolução de problemas.



Figura 1.1: Timeline do crescimento da empresa Manvia

O crescimento da Manvia está correlacionado umbilicalmente com o crescimento dos seus clientes, num processo comum de evolução, alicerçado em parcerias que têm perdurado ao longo do tempo e permitido a criação do valor sustentável de parte a parte, assegurada por uma prestação de serviços de qualidade suportada em investimentos permanentes ao nível da tecnologia e inovação para encontrar as melhores e mais adequadas soluções para cada novo desafio.

As suas áreas de atuação são as seguintes:

- Edifícios
- Gestão
- Saúde
- Ambiente
- Indústria
- Energia

Alguns dos contratos mais importantes são o antigo pavilhão Atlântico, que agora tem a designação de Meo Arena situado em Lisboa, a casa da música situada na cidade do Porto e o metro da mesma cidade, os CTT- correios de Portugal, Ascendi e o Banco Popular. Tanto nos Ctt como no banco Popular os contratos para as manutenções dos balcões por todo o território nacional e ilhas dos Açores e Madeira tornaram-se nos maiores contratos da história da Manvia.

Atualmente a empresa conta com mais de 450 colaboradores em várias áreas de negócio. [16]





## Capítulo 2

# Energia

A energia representa uma necessidade básica, tendo-se tornado num elemento preponderante para a competitividade económica e rápido crescimento mundial.

### 2.1 Panorama Energético Mundial

Nas últimas décadas, os países industrializados adotaram políticas de desenvolvimento económico para aumentar o bem de estar das populações, assentes em grandes consumos energéticos e com repercussões resultantes no impacto ambiental e na escassez dos recursos energéticos mundiais. Nos últimos anos tem-se verificado um aumento significativo do consumo da energia eléctrica a nível mundial e grande parte deste consumo é ainda sustentado através dos recursos energéticos de origem fóssil, como o carvão, o gás natural e o petróleo

#### 2.1.1 População Mundial

O número atual da população mundial do planeta é de 7,4 mil milhões de habitantes.

É no continente asiático que existe a maior concentração populacional do globo, representando mais de 60% da população mundial, com um total de 4,4 mil milhões de pessoas. Os dois países mais populosos encontram-se neste continente, e juntos perfazem um total superior a 2,7 mil milhões de pessoas. A China tem uma população de 1,4 mil milhões enquanto que a Índia tem praticamente 1,3 mil milhões. [17] Já na Europa, a população não chega sequer a um quarto desse total, alcançando os 742,5 milhões de habitantes, representando cerca de 11% da população mundial. A Europa é o continente que apresenta o crescimento demográfico mais baixo. A África, por sua vez, apresenta uma perspetiva inversa. Com 1,1 mil milhões de pessoas, esse é o continente com maior crescimento em termos proporcionais, com verdadeiras explosões demográficas em países como a Nigéria e a África do Sul. Este continente representa cerca de 13% da população mundial. A América do Norte representa 8% (514 milhões), América do Sul com 371 milhões representa 5,6% e a Oceânia em torno dos 60 milhões.

Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), esta aponta que a população mundial deve chegar a 9,6 mil milhões de pessoas em 2050, isso significa um aumento de quase

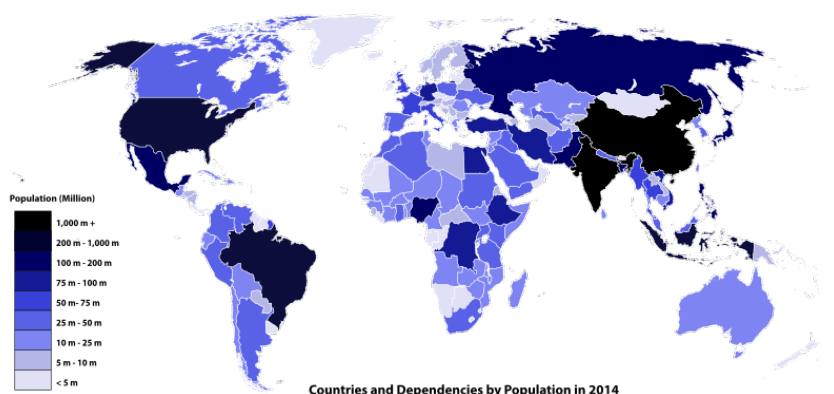


Figura 2.1: Mapa da densidade populacional no mundo em 2014

2 mil milhões de habitantes em menos de quarenta anos. Uma grande parte deste crescimento é graças a África, que permanecerá como a região que terá o maior crescimento populacional. De acordo com a Unicef, em 2050, 25% da população mundial viverá em África, e para isso muito contribuirá a Nigéria, que neste momento é o 7º país mais populoso do mundo e o mais populoso em África e que até 2050 será o país que irá crescer mais rapidamente em termos de população, tornando-se no terceiro mais populoso do Mundo[18]

Quanto aos países da Europa e da América do Norte pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), a população irá continuar a aumentar na mesma proporção da população global, atingindo o seu valor máximo em 2030. [18]

Até ao ano de 2100, existe uma previsão que o planeta deva chegar aos 11,2 mil milhões de habitantes, tendo para isso a contribuição maioritária do continente Africano. 2.2

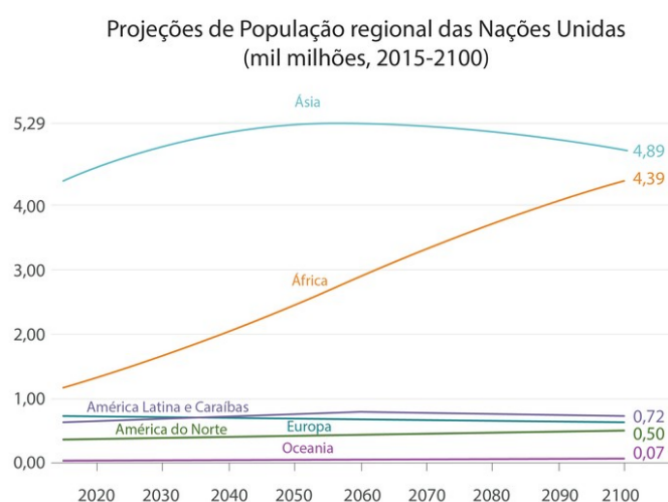


Figura 2.2: Projeção densidade populacional no mundo em 2100 [1]

### 2.1.2 Consumo Energia

Devido a este aumento populacional, o consumo de energia tem crescido de uma forma rápida, como podemos ver no gráfico 2.3 . É necessário saber onde há maior consumo de energia, e estimar no futuro onde poderá aumentar ou diminuir o mesmo.

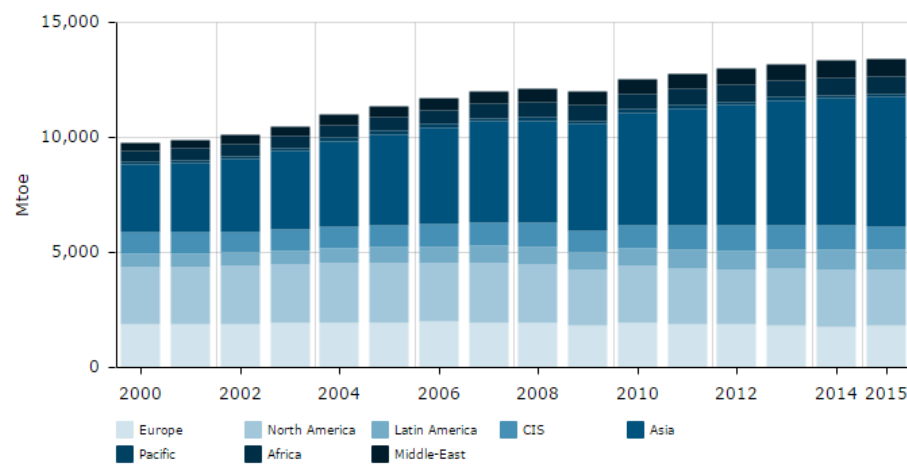


Figura 2.3: Evolução do Consumo de Energia entre 2000 e 2015[2]

Vamos analisar o consumo a nível mundial. Na figura 2.4 podemos observar que a China, os Estados Unidos da América e a Índia são os três países que apresentam o maior consumo de energia. E um dos grandes problemas com o crescimento da população mundial é que até 2040 está previsto um aumento de cerca de 35% na procura da energia, em que metade desse crescimento virá da China e da Índia.

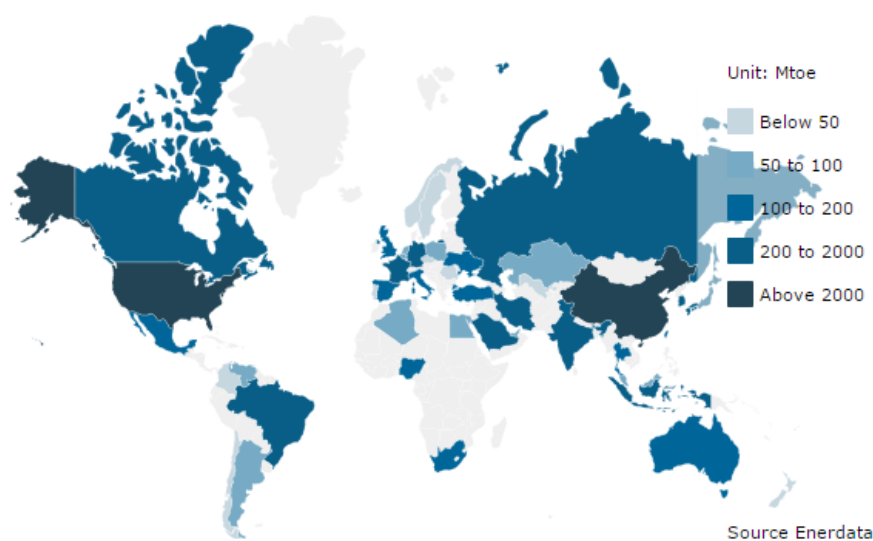


Figura 2.4: Consumo Mundial de Energia

Na Figura 2.5 é possível observar separadamente a evolução específica de cada energia primária no ano de 2015. O petróleo é a energia primária dominante, seguida pelo carvão. Como podemos observar os países estão muito dependentes dos combustíveis fósseis, sendo que eles representam cerca de 80% do consumo de energia primária mundial. [3]

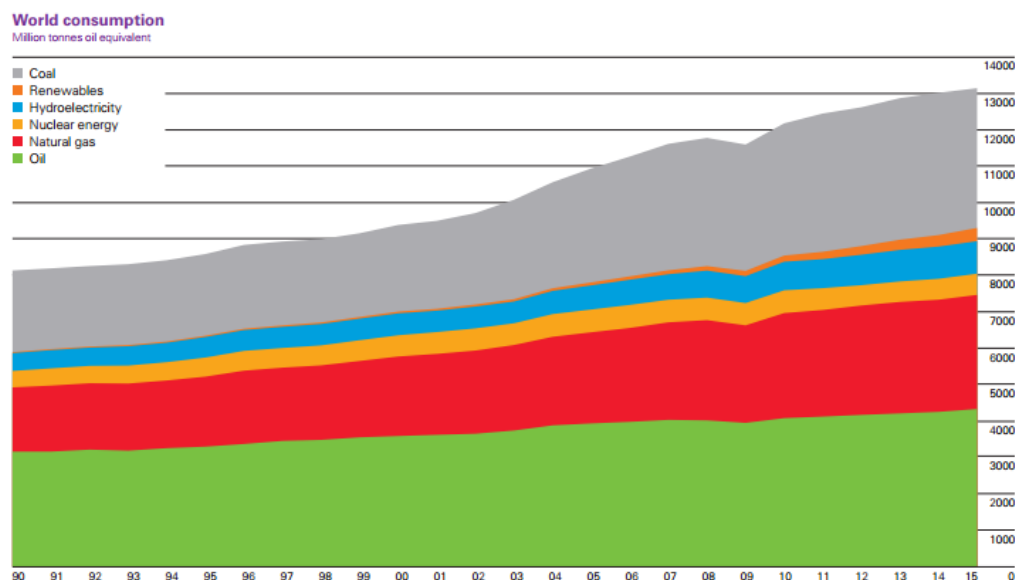


Figura 2.5: Consumo Mundial de Energia [3]

Mas no futuro irá existir uma alteração na procura das energias primárias para o abastecimento de energia. Prevê-se que no intervalo de tempo 2016-2040, o gás natural seja a fonte de energia que obtenha maior crescimento, sendo que em 2025 esta fonte ultrapasse o carvão passando a ser a segunda maior fonte de energia. Uma das vantagens do gás natural perante o carvão é que além de ser extremamente versátil, quando é usado na geração de energia, ele emite até menos 60% de CO<sub>2</sub> do que o carvão.

Quanto ao carvão, neste momento corresponde à segunda maior parcela da oferta atual de energia. Prevê-se que a sua procura continue a crescer até 2025, altura que irá entrar em declínio a sua utilização, devido à necessidade de se reduzir emissões dos países da OCDE e também da China, que neste momento é responsável por metade da produção mundial de carvão. O petróleo continuará a ser a principal fonte mundial de energia.

No caso das energias renováveis, esta irá obter um crescimento bastante acentuado, principalmente graças ao aumento da oferta das energias hidroelétricas, solar e eólica. Em 2040 a energia eólica e a energia solar fornecerão 10% da eletricidade gerada, um valor bem superior aos 2% verificado em 2010. [19]

A figura 2.6 demonstra esta perspetiva de evolução das fontes de energia entre 2010 e 2040.

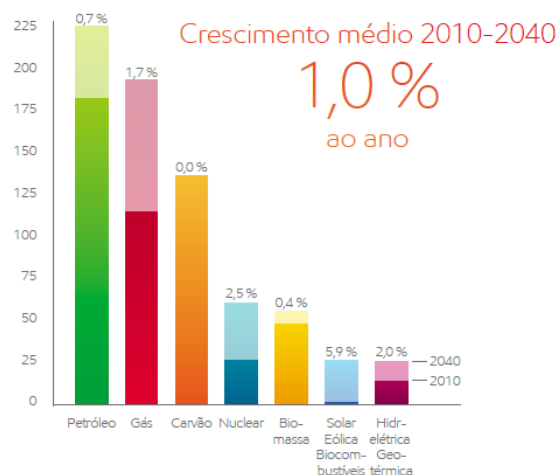


Figura 2.6: Matriz Energética Mundial entre 2010 e 2040

## 2.2 Panorama Energético Nacional

Analisando agora o panorama energético nacional, podemos observar que este panorama não é muito favorável a Portugal. A principal razão é devido ao facto de Portugal ser um país com escassos recursos energéticos de origem fóssil, tais como o petróleo, o gás natural, carvão, entre outros. Estes recursos são considerados de extrema importância, pois são eles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos. Esta escassez de recursos não permite a Portugal garantir a sua auto suficiência, originando a que Portugal tenha de recorrer a importação desses combustíveis. Esta dependência do exterior é muito prejudicial à economia portuguesa, devido à grande vulnerabilidade a que Portugal fica sujeito em relação às flutuações dos preços internacionais. Alguns dos motivos que originam estas flutuações dos preços internacionais são por exemplo desastres naturais, guerras, ou quando existe um estado climático severo. [20]

Dada a elevada dependência do exterior, Portugal tem vindo a mudar a matriz energética nacional, o que originou uma forte aposta nas energias renováveis principalmente na energia solar, energia hídrica e na energia eólica. Esse aposta originou que a dependência energética tenha vindo a decrescer desde o ano de 2005, ano esse em que se obteve um máximo histórico de 88,8%, devido à baixa produtividade das centrais hídricas, como resultado de um ano hidrológico muito seco. [21] [22]

Como podemos observar no gráfico 2.7, no ano de 2014 obteve-se um mínimo histórico de dependência energética, atingindo os 71%, ou seja existiu uma redução de 2,7% em comparação ao ano de 2013, que se deveu principalmente à redução das importações de petróleo e de gás natural. [23]

Se compararmos a dependência energética registada em 2013 por Portugal em relação com os outros países que compõem a União Europeia, podemos observar que Portugal encontra-se em 8º lugar dos mais dependentes, tal como é possível observar na figura 2.8 [4]

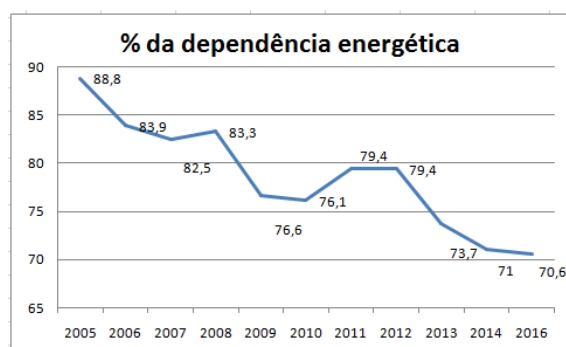


Figura 2.7: Evolução da taxa de dependência energética, entre 2005 e 2016

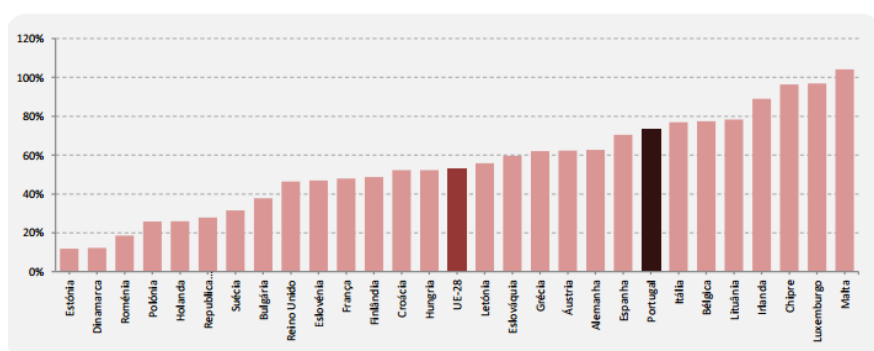


Figura 2.8: Dependência Energética na UE-28 em 2013 [4]

Espera-se que a dependência portuguesa continue a diminuir anualmente, tendo como objetivo atingir o valor de 68% em 2030. [22] Outro dos indicadores fundamentais para análise é a intensidade energética. Este indicador relaciona o consumo de energia do país com o seu respetivo PIB. Isto significa que quanto maior a intensidade energética, menor será a sua eficiência pois será necessário um maior gasto de energia para produzir uma unidade de riqueza. Se analisarmos a figura 2.9 podemos verificar que Portugal se encontra na 15ª posição, num total de 28 países.[4]

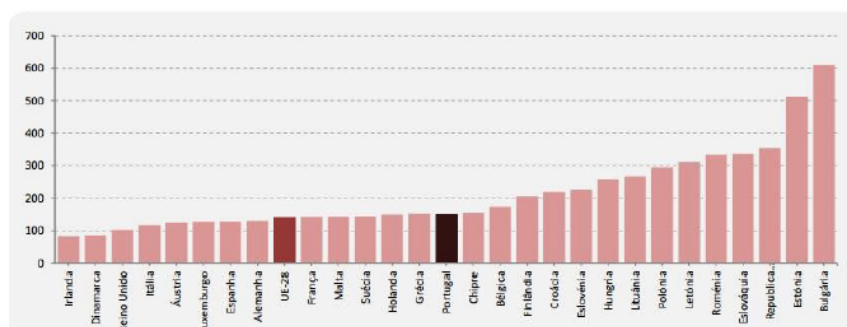


Figura 2.9: Comparação da Intensidade energética nacional em relação aos outros países da UE [4]

A intensidade energética é influenciada por um extenso conjunto de variáveis, tais como a eficiência no consumo de combustível nos veículos ou a distância média percorrida por estes, as políticas de poupança, etc.

O gráfico 2.10 representa o consumo dos diferentes tipos de energia primária em Portugal no ano de 2010 e 2015:

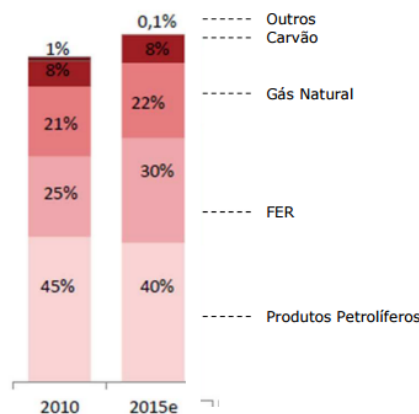


Figura 2.10: Cenário de evolução do consumo de Energia Primária em Portugal [5]

Como se pode verificar analisando o gráfico, o petróleo mantém um papel essencial na estrutura de abastecimento, representando 43% do consumo total de energia primária em 2015. O gás natural contribuiu, no último decénio, para diversificar a estrutura da oferta de energia e reduzir a dependência exterior em relação ao petróleo. Manifestou uma evolução positiva no mix energético, representando este combustível, em 2015, 22% do total do consumo em energia primária. Em 2015, o consumo de carvão representou 8% do total do consumo de energia primária. Prevendo-se uma redução progressiva do peso do carvão na produção de eletricidade, devido ao seu impacto nas emissões de CO<sub>2</sub>, tendo previsto em 2020 chegar ao valor de 3%. Quanto ao contributo das energias renováveis, observamos o aumento considerável que obtiveram, sendo este aumento de 5%. A energia eólica é a que representa o maior contributo para este crescimento, como é possível verificar no gráfico 2.11

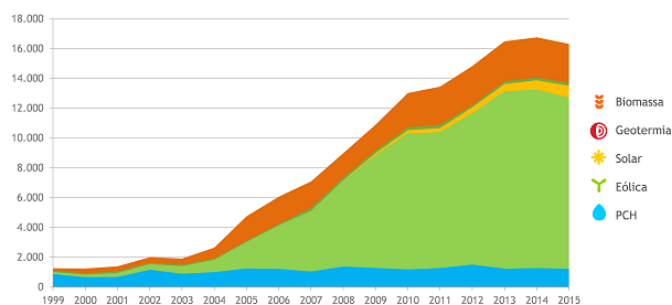


Figura 2.11: Produção de energia renovável [6]

Outra das forma de se reduzir a dependência dos mercados internacionais é utilizar a energia de forma mais racional e eficiente. Segundo a Agência Internacional de energia é possível realizar uma diminuição de pelo menos 50% na emissão dos gases de efeito de estufa até 2050. [24]

Em Março de 2007 os líderes europeus decidiram encetar esforços para tornar a Europa numa economia eficiente com baixas emissões de carbono combatendo ao mesmo tempo as alterações climáticas. Consequentemente, criou-se uma estratégia denominada de "Meta 20-20-20" onde foram estabelecidas várias metas para o ano 2020, que já foram referenciadas no capítulo 1. Cada Estado-Membro assumiu o compromisso de adotar as seguintes metas para 2020:

- Reduzir em 20% as emissões de gases com efeito estufa;
- Aumentar para 20% a quota de utilização das energias de fonte renovável,
- Obter uma melhoria de 20% na eficiência energética.

## 2.3 Desenvolvimento sustentável

Novas vias têm que ser encontradas para viabilizar a manutenção dos padrões de vida das sociedades desenvolvidas e as justas aspirações dos países em desenvolvimento, sem contudo comprometer o futuro das gerações vindouras.

A expansão económica que decorre nas ultimas décadas originou uma intensa utilização de energia produzida a partir de recursos de origem fóssil. A natureza finita desses recursos tal como o impacto ambiental da sua produção alertaram o mundo para a necessidade de uma mudança dos princípios de suporte ao modelo de desenvolvimento. Novas vias têm de ser encontradas de modo a viabilizar a manutenção dos padrões de vida. Daí surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável. Este conceito refere-se a um modo de desenvolvimento que seja capaz de atender às necessidades atuais, sem comprometer as capacidades de crescimento das futuras gerações. Ou seja, usar os recursos naturais de modo a ser possível continuar o desenvolvimento, mas conciliando esse crescimento económico com a preservação do meio ambiente, tanto a curto prazo como sobretudo a longo prazo.[25] [26]

O desenvolvimento sustentável pode ser dividido em três componentes: a sustentabilidade ambiental, a sustentabilidade económica e a sustentabilidade sociopolítica. 2.12

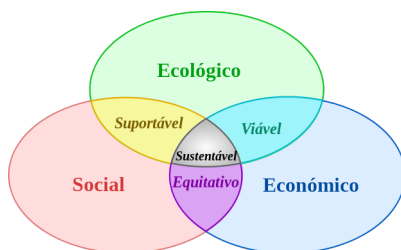


Figura 2.12: Esquema dos princípios do Desenvolvimento Sustentável



Este conceito surgiu pela primeira vez no final do século XX, mais especificamente no ano de 1983, numa Comissão Mundial sobre o meio ambiente, em que essa comissão propôs que o desenvolvimento econômico fosse integrado à questão ambiental, originando assim o conceito. [27]

Dados divulgados pela ONU revelam que se está a usar muito mais os recursos naturais do que a natureza os consegue repor. Ou seja, o primeiro passo para se começar a caminhar para um desenvolvimento sustentável é reconhecer que os recursos naturais são finitos. É necessário os usar com critério, de modo a não os esgotar-mos.

Podemos afirmar que as principais metas para ser possível um desenvolvimento sustentável são:

- Os recursos não renováveis devem ser explorados de um modo quase sustentável limitando o seu ritmo de esgotamento ao ritmo de criação de substitutos renováveis;
- As emissões de resíduos poluentes devem ser reduzidas ao mínimo e não devem exceder a capacidade de absorção e de regeneração dos ecossistemas;
- A exploração dos recursos renováveis não deve exceder ritmos de regeneração.

O principal acontecimento que marca o desenvolvimento sustentável é o Protocolo de Quioto. É um protocolo sobre as alterações climáticas, com o objetivo de reduzir as emissões dos GEE e que foi aberto para assinaturas em 11 de Dezembro de 1997, e que entrou em vigor a 16 de Fevereiro de 2005. Durante a primeira fase do protocolo foram estabelecidas metas na qual os países-membros tinham a obrigação de reduzir a emissão dos GEE em pelo menos 5,2% em relação aos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012.

A segunda fase do Protocolo de Quioto é válida entre os anos de 2013 a 2020, em que os países-membros comprometeram-se a reduzir os níveis de emissões em pelo menos 18% em relação ao ano de 1990. [28]



## Capítulo 3

# Iluminação

A iluminação constitui um dos fatores principais na criação de um ambiente laboral ou de lazer, influenciando a produtividade, a saúde e o bem-estar dos utilizadores. Como sabemos a baixa eficiência de alguns sistemas de iluminação conduz a maiores consumos de energia elétrica, com maior impacto em termos económicos e ambientais. Numa altura em que os custos com a energia são uma fatia bastante representativa dos custos de produção, além das naturais preocupações ambientais, a escolha de opções de eficiência energética economicamente viáveis torna-se uma necessidade.

Neste capítulo é apresentado uma abordagem sobre os equipamentos e metodologia a aplicar, para uma melhor eficiência da iluminação numa instalação eléctrica, passando por um estudo sobre:

- as principais grandezas luminotécnicas
- as lâmpadas existentes no mercado, focando as suas vantagens/ desvantagens e seu impacto ambiental;
- as classes de eficiência energética das lâmpadas
- análise ao tipo de luminárias existentes
- a utilização dos balastro eletrónicos
- a escolha de um sistema de gestão da iluminação adequado e combinação com a luz natural

### 3.1 Grandezas Luminotécnicas

#### 3.1.1 Fluxo Luminoso

O Fluxo Luminoso é designado pelo simbolo ( $\Phi_v$ ) é a quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte luminosa, enquanto ela é alimentada à tensão nominal (230V). A unidade de medida SI é o lúmen (lm), que corresponde à quantidade de energia radiante capaz de sensibilizar os olhos durante um segundo.

Este é um conceito importante para a escolha da lâmpada, uma vez que quando comparadas lâmpadas com características diferentes, em geral a escolha irá recair pela lâmpada com maior fluxo luminoso. [29]

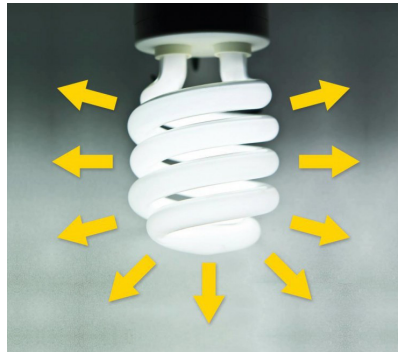


Figura 3.1: Fluxo Luminoso

### 3.1.2 Intensidade Luminosa

A intensidade luminosa de uma fonte de luz é igual ao fluxo emitido numa dada direcção por unidade de ângulo sólido nessa direcção. A unidade é a candela (cd).

Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direcções, o Fluxo Luminoso se distribuiria na forma de uma esfera. Tal fato, porém, é quase impossível de acontecer, razão pela qual é necessário medir o valor dos lúmens emitidos em cada direcção. Essa direcção é representada por vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa. Podemos ver a representação na imagem 3.2. [29]



Figura 3.2: Intensidade Luminosa

### 3.1.3 Iluminância

A iluminância caracteriza-se como a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a área sobre a qual este incide, ou seja, é a quantidade de luz que está chegando num ponto.

A unidade de medida é o lux, que é equivalente ao lúmen por metro quadrado. A medição da luminância pode ser feita por intermédio do luxímetro. O valor da iluminância varia em função do ponto onde se realiza a medição. Assim, para medir o nível de iluminância, calcula-se o valor médio entre as várias medições realizadas.

Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se por isso a iluminância média ( $E_m$ ). Existem normas especificando o valor mínimo de  $E_m$ , para ambientes diferenciados pela atividade exercida relacionados ao conforto visual. [29]



Figura 3.3: Iluminância

#### 3.1.4 Iluminância Média

Média aritmética de todos os pontos de iluminância calculados sobre a superfície. A sua unidade é o Lux.

Os valores de iluminância média recomendados para os locais de trabalho interiores estão definidos na norma europeia EN-12464 “Light e Lighting-Lighting of Indoor Workplaces”)

#### 3.1.5 Luminância

A Luminância é a intensidade luminosa emitida ou refletida por uma superfície iluminada em direção ao olho humano, conforme a figura 3.4, ou por outras palavras, pode ser entendida como o quociente entre a intensidade luminosa e a área que a reflete segundo uma determinada direção.

Tem como unidade SI a candela por metro quadrado. A luminância será máxima quando o olho estiver na perpendicular da superfície luminosa. A percepção de luz na realidade é a percepção de diferenças de luminâncias.

A medida de luminância realiza-se por meio de um aparelho especial designado por luminâncímetro e baseia-se num sistema ótico de direção e outro de medição [29]

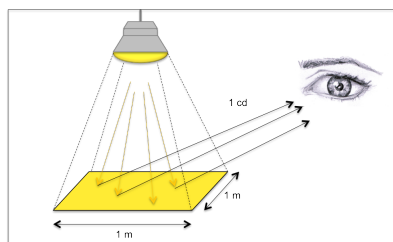


Figura 3.4: Luminância

## 3.2 Lâmpadas

No caso de estudo da melhoria da eficiência energética, devemos conhecer as características mais importantes das lâmpadas. A seguir são apresentadas essas características que diferenciam as lâmpadas entre si.

[7]

**Rendimento luminoso:** indica o quociente entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência eléctrica absorvida. Exprime-se em lm/W (lúmen/Watt). Será abordado no capítulo 3.2.5

**Temperatura de cor:** Mede-se em Kelvin e indica a cor aparente da luz emitida. Assim quanto mais elevada for a temperatura da fonte, mais “fria” parecerá ser a luz emitida. Pelo contrário quanto mais baixa foi a temperatura de cor, maior será a impressão de luz “quente”. Na tabela 3.1 podemos verificar a classificação da temperatura de cor.

Tabela 3.1: Classificação de Temperatura de Cor

Cor	Temperatura de Cor
Branco Quente	<3.300 Kelvin
Branco Neutro	3300<T. Cor <5.000 Kelvin
Luz Fria	>5.000 Kelvin

**Índice de restituição de cores ou Índice de Reprodução Cromática:** indica a capacidade de uma fonte luminosa restituir as cores de um objecto ou de uma superfície iluminada. É expresso por um número compreendido entre 0 e 100, sendo que quanto mais próximo de 100, melhor. Podemos ver como é distribuída a classificação na tabela 3.2

Tabela 3.2: Restituição de verdadeira cor ao objeto iluminado

Índice de Restituição Cromática	Classificação
<60	Pobre
60<IRC <80	Boa
80<IRC <90	Muito Boa
>90	Excelente

**Duração de vida média:** dado pelo fabricante, que indica o número de horas de vida média de uma lâmpada no qual cerca de 25% do fluxo luminoso das lâmpadas testadas foi depreciado.

O mercado de iluminação dispõe de uma vasta gama de lâmpadas, cada uma com características distintas entre elas. Podemos afirmar que de todo o tipo de lâmpadas existentes elas dividem-se em quatro famílias: [8]

- 1) Lâmpadas incandescentes
- 2) Lâmpadas de descarga
- 3) Lâmpadas de indução
- 4) Lâmpadas LED

De seguida são apresentadas, por ordem de tecnologia de construção, começando na lâmpada mais antiga até à mais recente.

### 3.2.1 Lâmpadas Incandescentes

As lâmpadas incandescentes subdividem-se em dois tipos: lâmpadas de filamentos e lâmpadas de halogéneo.

No 1º tipo de lâmpadas o seu funcionamento ocorre pela passagem de corrente elétrica por um filamento de tungsténio, com alta resistência elétrica, que é levado à incandescência e apenas uma pequena parte da energia irradiada é libertada através de calor e luz. Apresentam como pontos positivos o facto de não necessitarem de um equipamento auxiliar para o seu funcionamento (ligação directa à rede) e apresentam uma muito boa restituição de cores que é o ponto forte deste tipo de lâmpadas. Por outro lado apresentam geralmente uma temperatura de cor de 2.700 graus Kelvin, uma duração de vida reduzida de cerca de 1000 horas e têm o menor rendimento luminoso de todas as lâmpada, cerca de 10 a 17 lm/W. São lâmpadas em que a sua utilização é cada vez menos frequente.

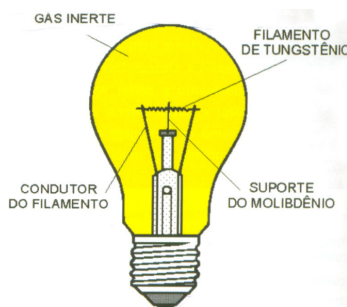


Figura 3.5: Lâmpada incandescente de filamento

No que respeita às lâmpadas de halogéneo estas têm o mesmo princípio de funcionamento que as lâmpadas de filamento e foram aperfeiçoadas com a introdução de gases halogénicos (iodo, cloro, bromo). As partículas do filamento, que se desprendem devido ao uso, são capturadas

pelo composto halogéneo. Quando esse composto fornecido pelo halogéneo e tungsténio se aproxima do filamento, é decomposto pela alta temperatura do filamento, restituindo a molécula de tungsténio, sobre o filamento da lâmpada, promovendo uma regeneração do mesmo. O halogéneo continua a sua tarefa no ciclo regenerativo.

Como pontos fortes têm uma muito boa restituição de cores, temperatura de cor de 3000 graus Kelvin o que proporciona uma luz mais branca e em termos de economia, estas lâmpadas oferecem mais luz com uma potência menor ou igual as lâmpadas incandescentes de filamentos, têm um melhor rendimento luminoso ( 25 lm/W) além de apresentarem uma vida útil superior, entre 2.000 e 4.000 horas.



Figura 3.6: Lâmpada Halogéneo

### 3.2.2 Lâmpadas de descarga

Este tipo de lâmpadas são normalmente constituídas por um tubo no qual se ocorre a descarga entre os elétrodos num meio gasoso.

Estas lâmpadas consoante a pressão existente no interior do tubo, podem ser divididas em dois grandes grupos, lâmpadas de descarga de alta pressão ou lâmpadas de descarga de baixa pressão.

Pode-se subdividir as lâmpadas de alta pressão nos seguintes tipos:

- Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão;
- Lâmpadas de luz mista;
- Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos.

Quanto às lâmpadas de baixa pressão, elas subdividem-se em:

- Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão;
- Lâmpada fluorescente (tubular ou linear)
- Lâmpada fluorescente compacta.



### 3.2.2.1 Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

Esta lâmpada é constituída por um tubo de descarga transparente, de inserido em um bulbo de vidro. Esta lâmpada tem dentro do tubo de descarga vapor de mercúrio e árgon e quatro elétrodos: dois principais e dois auxiliares. A luz desta lâmpada é caracterizada por tomar uma cor branco – azulada.

As suas caraterísticas são a sua maior eficiência em relação às outras lâmpadas incandescentes, tendo uma eficiência luminosa entre 50 a 60 lm/W, têm um preço sensivelmente baixo quando comparado com outras lâmpadas de descarga de alta pressão e apresentam também uma elevada duração média de vida (entre 10 mil a 12 mil horas). A sua temperatura de cor varia entre os 3800 e os 4100 graus Kelvin e apresentam um índice de restituição de cores de IRC baixo (40 a 48). Têm aplicação principalmente em grandes espaços exteriores, e também na iluminação de estradas e aeroportos. Na figura 3.7 podemos ver um exemplo deste tipo de lâmpadas.

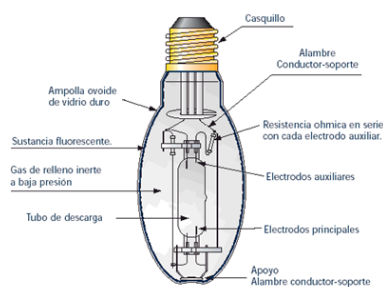


Figura 3.7: Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão

### 3.2.2.2 Lâmpadas de luz mista

A lâmpada de luz mista resulta da combinação de uma lâmpada de vapor de mercúrio com uma lâmpada incandescente. Consiste em um bulbo, preenchido com gás, revestido na parede interna com um fósforo, contendo um tubo de descarga ligado em série a um filamento de tungstênio. O filamento de tungstênio encontra-se ligado em série com o tubo de descarga. A lâmpada utiliza o filamento incandescente para o arranque de funcionamento e o tubo de descarga das lâmpadas de mercúrio para a emissão do fluxo luminoso. O filamento age como um balastro para a descarga, estabilizando a corrente da lâmpada originando que não seja necessário um equipamento auxiliar, possui uma restituição de cores média (IRC 61 a IRC 63), apresenta um rendimento luminoso até 26 lm/W, uma temperatura de cor entre 3.400 e 3.700 graus Kelvin e apresenta uma duração média de vida de 2.000 horas. Porém, para se obter esta duração média de vida é necessário que a temperatura de funcionamento do filamento seja baixa, o que origina uma considerável redução no rendimento. O seu rendimento luminoso não ultrapassa os 26 lm/W. Na figura 3.8 podemos ver um exemplo deste tipo de lâmpadas.

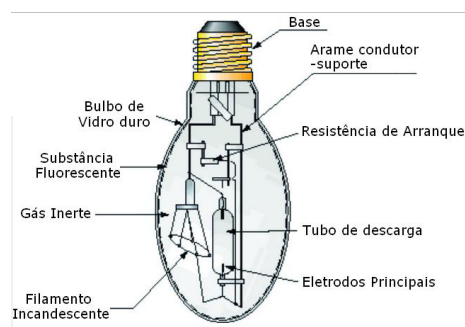


Figura 3.8: Lâmpada de luz mista

### 3.2.2.3 Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

Este tipo de lâmpadas são constituídas por um tubo de descarga cerâmico, em que cada extremidade existe um eletrodo. Este tubo contém um excesso de sódio para possibilitar a saturação do vapor quando a lâmpada está em funcionamento, também contém um excesso de mercúrio para garantir um gás de proteção e xénon que atua como gás de partida para facilitar o arranque.

Apresentam uma temperatura de cor entre 1900 e 2500 graus Kelvin, uma restituição de cores média elevada (entre 80 a 95), baixo consumo, um elevado rendimento luminoso, que pode atingir os 130 lm/W e uma duração média de vida elevada, que pode atingir as 20 mil horas. Como podemos observar estas lâmpadas apresentam um elevado rendimento luminoso para além da sua vida útil extremamente longa e devido a estes fatores são mais interessantes do que a lâmpada de vapor de mercúrio. Estas lâmpadas são usadas principalmente em uso de iluminação pública.

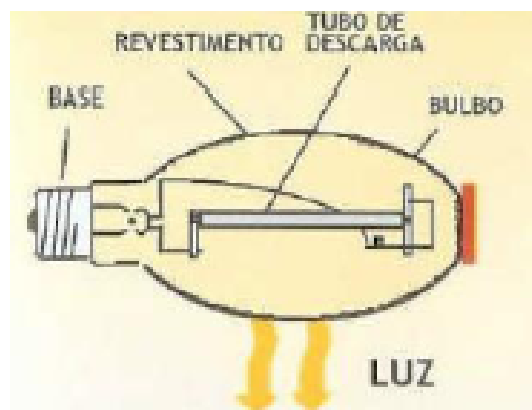


Figura 3.9: Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

### 3.2.2.4 Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos

Sempre que é necessário um elevado índice de restituição de cores tanto as lâmpadas de vapor de sódio como as lâmpadas de mercúrio não são as mais convenientes. Nesse sentido foram desenvolvidas as lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos. A sua constituição é idêntica as

lâmpadas mencionadas no capítulo 3.1.2.1 sendo que a sua alteração encontra-se na mistura de substâncias inseridas no tubo. Introduziu-se no tubo uma mistura de iodetos de tálio, índio e sódio. Apresentam uma duração média de vida entre 3.000 e 9.000 horas, um índice de restituição de cores alto, uma vasta temperatura de cor, que varia entre os 3.000 até aos 7.000 graus Kelvin, um alto rendimento luminoso e apresentam uma classe energética de A ou A+. Porém apresentam um elevado valor de custo o que limita a sua utilização. Na imagem 3.10 podemos ver uma representação desta lâmpada.



Figura 3.10: Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos

### 3.2.2.5 Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão

Estas lâmpadas são caracterizadas por utilizarem o vapor de sódio em vez do vapor de mercúrio. Como o sódio se encontra no estado sólido o arranque das lâmpadas de vapor sódio de baixa pressão é mais difícil. Um dos pontos negativos deste tipo de lâmpadas é o seu elevado tempo de arranque, em que são necessários 10 minutos até elas atingirem o seu máximo rendimento. De modo a ser possível obter as condições de temperatura elevada exigidas no arranque, existe um invólucro de vidro dentro da ampola que reflete a radiação infravermelha. Apresentam se como suas características um elevado rendimento luminoso e uma duração média de vida bastante elevada (cerca de 12.000 horas). A sua principal desvantagem centra-se no seu reduzido índice de restituição de cores, o que leva a que estas lâmpadas só sejam utilizadas em exteriores. Segue um exemplo desta lâmpada 3.11



Figura 3.11: Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão

### 3.2.2.6 Lâmpada fluorescente (tubular ou linear)

Este tipo de lâmpadas são lâmpadas de descarga de vapor de mercúrio de baixa pressão, em que em cada extremidade do tubo de descarga se encontra um eletrodo. A superfície interior do tubo de descarga encontra-se revestida com uma substância fluorescente, que transforma a radiação ultravioleta produzida pela lâmpada em radiação visível. A eficácia da lâmpada fluorescente e as suas características colorimétricas (temperatura de cor, reprodução de cores) são determinadas pela composição e espessura do pó fluorescente.

Quanto às suas características estas lâmpadas apresentam um elevado rendimento luminoso, que pode atingir os 100 lm/W, uma duração média de vida elevada que varia entre as 7.500 até as 24.000 horas, uma temperatura de cor entre 2.700 e 5.000 graus Kelvin e apresentam um índice de restituição de cores entre 85 a 95%. Para o seu funcionamento é necessário existir tanto arrancador como balastro como equipamento auxiliar. Estas lâmpadas tem a sua maior aplicação na iluminação de espaços interiores.

As primeiras lâmpadas deste tipo a serem desenvolvidas foram lâmpadas que apresentavam um diâmetro do tubo de descarga de 38mm e eram designadas por T12, sendo que após essas houve uma redução do diâmetro para 33,5mm que eram as lâmpadas T10. Com o passar dos anos houve a grande evolução deste tipo de lâmpadas que consistiu na redução do diâmetro do tubo e um aumento da qualidade da luz. O tubo viria a ser reduzido para 26 (T8) e 16mm (T5). As lâmpadas T8 apresentam apenas 3mg de mercúrio e funcionam com balastros eletrónicos ou ferromagnéticos. Quanto às lâmpadas T5 estas funcionam apenas com balastros eletrónicos e graças as suas dimensões mais reduzidas permite um melhor controlo do feixe luminoso e um aumento do rendimento luminoso. Na figura 3.12 é possível observar o decréscimo do diâmetro do tubo da lâmpada e também a direção do feixe luminoso de cada lâmpada.

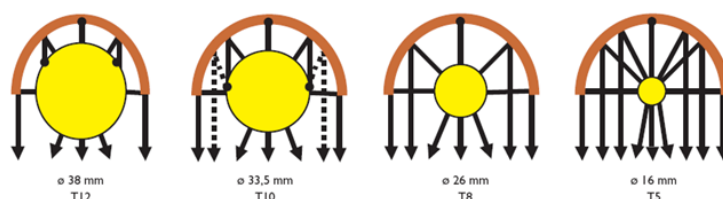


Figura 3.12: Classificação e diâmetro das lâmpadas fluorescentes

### 3.2.2.7 Lâmpada fluorescente compacta

Este tipo de lâmpadas tem também a designação de lâmpadas de baixo consumo, que são ideias para substituição das lâmpadas incandescentes. São lâmpadas que apresentam reduzidas dimensões, apresentam uma baixa emissão térmica e um consumo bastante reduzido. O seu rendimento luminoso varia entre 40 a 60 lm/W, sendo que em comparação com as lâmpadas incandescentes apresentam um rendimento quatro vezes superior. A sua duração média de vida pode atingir no máximo as 10.000 horas e uma temperatura de cor que varia entre os 2.700 até aos 5.400 graus

Kelvin. Quanto ao seu custo, é bastante superior em comparação com as lâmpadas incandescentes mas devido à poupança que é possível obter através da sua longa duração de vida e do seu rendimento luminoso é possível abater o seu elevado custo. O seu tempo de arranque é instantâneo.



Figura 3.13: Lâmpada fluorescente compacta

### 3.2.3 Lâmpadas de indução

Estas lâmpadas surgiram em 1968 e têm o mesmo princípio das lâmpadas de descarga, sendo que a única diferença é que a descarga no gás é produzida por uma forte indução magnética. Estas lâmpadas não possuem elétrodos e o campo magnético da lâmpada é induzido através de uma bobina de indução que atua a alta frequência. A descarga, induzida pelas bobinas, forma um circuito fechado, provocando a aceleração de eletrões livres. À medida que os eletrões excitados mudam para um nível energético inferior e estável, emitem radiação ultravioleta. Esta radiação é convertida em luz visível à medida que passa pelo revestimento de fósforo sobre a superfície do tubo, semelhante ao processo de geração da luz nas lâmpadas fluorescentes.

Apresenta uma duração média de vida de 60.000 horas, extrema fiabilidade, emite luz instantaneamente e um rendimento luminoso de 80 lm/W. Tem como contrapartida o seu preço extremamente elevado.



Figura 3.14: Lâmpada de indução

### 3.2.4 Lâmpadas LED

Estas lâmpadas LED - Light Emitting Diode (Díodo Emissor de Luz) é um diodo semicondutor, que através do seu aquecimento originado por uma corrente elétrica origina uma luz intensa. A luz que os Leds emitem depende da composição do material do semicondutor utilizado. É possível emitir a luz branca de duas formas: ou através da combinação de Leds de cor verde, vermelho e azul ou combinando um chip azul ou ultravioleta e o fósforo. Nos últimos anos a iluminação através da utilização de Leds tem tido um crescimento muito elevado.

Em comparações com as outras lâmpadas mencionadas anteriormente, elas apresentam como vantagens o seu baixo consumo, apresentam também uma duração média de vida superior a qualquer outro tipo de lâmpadas conseguindo atingir as 100.000 horas, evidenciam um bom rendimento luminoso (até 130 lm/W), apresentam um elevado índice de restituição de cores (entre 80 a 85), são mais ecológicas devido a não conterem mercúrio ao contrário de todos os outros tipos de lâmpadas e entregam a mesma quantidade de luz, ou até mais, consumindo até 75% menos energia que as lâmpadas de vapor metálico e de sódio. Por outro lado, tem como desvantagem o seu elevado custo de aquisição.



Figura 3.15: Exemplo de lâmpadas LED

### 3.2.5 Análise do rendimento luminoso das lâmpadas

O rendimento luminoso ou eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido e a energia elétrica consumida (potência). É útil para averiguarmos que tipo de lâmpada é mais eficiente. Na imagem 3.16 podemos ver a comparação de todas as lâmpadas mencionadas.

Como podemos observar na figura 3.16 existe uma grande discrepância de rendimento luminoso para os vários tipos de lâmpadas. Como no estudo desta dissertação será apenas abordado a iluminação interior, é dado uma maior relevância às lâmpadas de incandescência, às lâmpadas de descarga de baixa pressão e as lâmpadas LED, visto que são as mais utilizadas na iluminação interior dos edifícios. Observamos que a melhor solução para a iluminação interior é a utilização

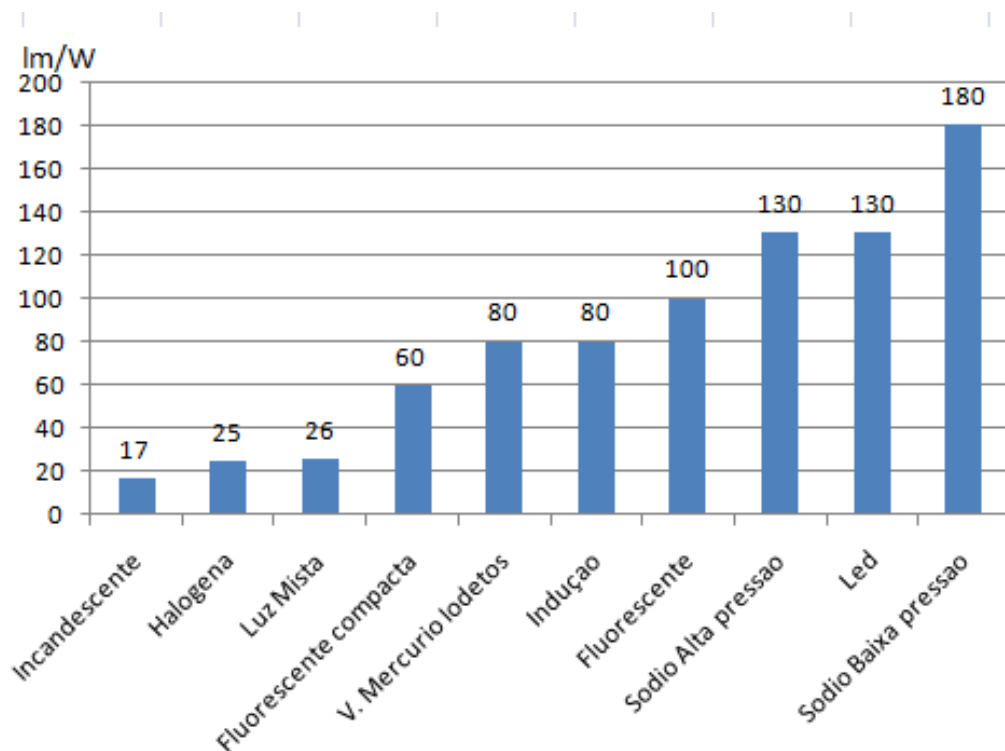


Figura 3.16: Gráfico comparativo do rendimento luminoso para cada lâmpada [7]

de lâmpadas Led que têm um rendimento luminoso bastante superior em comparação com as outras. Outra excelente solução são as lâmpadas Fluorescentes que apesar de terem um rendimento inferior às Led, apresentam um valor de aquisição muito inferior além de apresentarem a segunda maior duração média de vida, com 24.000 horas. Por outro lado observamos que as lâmpadas incandescentes são as piores lâmpadas, em que menos de 10% da energia que passa pelas lâmpadas incandescentes é transformada em luz, os outros 90% eletricidade são perdidos sob a forma de calor.

### 3.2.6 Comparação Final entre todos os tipos de lâmpadas mencionadas

Para ser possível analisar todo o tipo de lâmpadas de uma maneira mais simples, foi representado na tabela 3.3 um resumo entre todo o tipo de lâmpadas estudado no capítulo 3.2 mencionando as principais vantagens e desvantagens de modo a ser mais fácil tomar uma decisão sobre o tipo de lâmpada mais adequado para a iluminação a aplicar.

Tabela 3.3: Quadro resumo comparativo entre lâmpadas

Tipo Lâmpada	Vantagens	Desvantagens
Incandescentes	Dimensões Reduzidas Preço Reduzido Ótima restituição de cores	Rendimento muito baixo Duração vida muito reduzido
Halogéneo	Dimensões Reduzidas Preço Reduzido Ótima restituição de cores	Rendimento muito baixo Duração vida muito reduzido
Vapor Mercúrio Alta Pressão	Dimensões Reduzidas Longa Duração de Vida (12.000h) Bom Rendimento	Baixo Índice Restituição Cores Tempo Acendimento Preço Elevado
Vapor Sódio Alta Pressão	Dimensões Reduzidas Longa Duração de Vida (20.000h) Excelente Rendimento Boa Restituição Cores	Tempo Acendimento Preço Elevado
Vapor Mercúrio Iodetos	Dimensões Reduzidas Boa Duração de Vida (9.000h) Elevado Rendimento Bom Índice Restituição Cores	Preço elevado
Vapor Sódio Baixa Pressão	Ótimo Rendimento Longa Duração de Vida (12.000h)	Elevado Tempo Acendimento Reduzido Índice Restituição Cores
Fluorescentes	Longa Duração de Vida (24.000h) Elevado Rendimento Muito Boa Restituição Cores	Comprimento do Tubo
Fluorescentes Compactas	Dimensões Reduzidas Longa Duração de Vida (10.000h) Bom Rendimento	Preço Razoável(5 a 15euros)
Indução	Muito Longa Duração de Vida (60.000h) Extrema Fiabilidade Bom Rendimento Luminoso	Preço Muito Elevado
Leds	Dimensões Reduzidas Elevado Rendimento Muito Longa Duração de Vida(100.000h) Baixo Consumo	Preço Muito Elevado

### 3.2.7 Classes de Eficiência das Lâmpadas

Como sabemos, o impacto energético da iluminação num edifício é considerável. Devido a isso, foi lançado pela União Europeia a chamada etiqueta energética, que tem como objetivo fornecer ao consumidor informações precisas, reconhecíveis e comparáveis no que respeita ao consumo de energia. A Etiqueta Energética permite obter informação acerca da classe de eficiência energética, bem como o consumo de energia. [8]

Na figura 3.17 podemos observar um exemplo de uma etiqueta de eficiência energética. A sua classificação vai desde o nível A++ (muito eficiente) até ao E (pouco eficiente). Nestas etiquetas apresentada na figura 3.17, indica-se o seguinte:





Figura 3.17: Etiqueta de eficiência energética da lâmpada [8]

- 1) Nome do fornecedor ou marca comercial e modelo
- 2) Classe de eficiência energética
- 3) Consumo de energia ponderado, em kWh por 1000 horas.

Na seguinte tabela 3.4 podemos analisar a classe energética de todo o tipo de lâmpadas.

Tabela 3.4: Classe de Eficiência de cada lâmpada

Tipo Lâmpada	Classe de Eficiência
Incandescentes	E
Halógeno	C/D
Vapor Mercúrio Alta Pressão	B
Vapor Sódio Alta Pressão	A
Vapor Mercúrio Iodetos	A
Vapor Sódio Baixa Pressão	A+
Fluorescentes	A++ / A+/A
Fluorescentes Compactas	A++/ A+/ A
Leds	A++/A+/A

### 3.3 Luminárias

Designa-se por luminária o conjunto formado pela armadura mais a lâmpada, constituindo uma unidade completa de iluminação. Estas têm um papel muito importante no sistema de iluminação devido que uma luminária eficiente garante um melhor aproveitamento do fluxo luminoso, na direção desejada, proporcionando assim um maior conforto do utilizador. Devido a isso é necessário ter em atenção a escolha da armadura, pois mesmo que a lâmpada apresente boas características, a armadura pode ser ineficiente o que irá originar que o conforto dos utilizadores possa estar em causa. Outro aspeto importante será a segurança da instalação, bem como a distribuição correta da emissão do fluxo luminoso, de maneira a evitar ofuscamentos. No estudo de um projeto luminotécnico, é necessário ter em atenção fatores como o rendimento luminoso, a uniformidade, o encadeamento e o índice de proteção de luminárias.

A uniformidade de uma iluminação é medida entre a iluminância mínima e a iluminância máxima obtida na área em estudo. Esta é necessária a fim de evitar sombras acentuadas e assegurar o conforto e a segurança para a realização da atividade a que está destinado o espaço. No manual que serviu de orientação, o valor de referência para a uniformidade é, se possível, superior a 0,5. [30]

Podemos definir o rendimento como o quociente entre o fluxo luminoso irradiado pela luminária à temperatura de 25 graus e o fluxo luminoso total da lâmpada pertencente à luminária, igualmente a uma temperatura de 25 graus. Caso o refletor não seja de boa qualidade ou a luminária não disponha de um refletor, grande parte do fluxo luminoso não será refletido, o que originará um baixo rendimento luminoso. [7]

O encadeamento é o fenómeno de redução de capacidade de visualização de objetos, proporcionado por excesso de luminância na direção da visão. Pode ser considerado direto, quando o ofuscamento ocorre através da luminária/lâmpadas, ou indireto, quando a luz refletida em determinadas superfícies retorna aos olhos dos utilizadores desse ambiente. O ofuscamento direto pode ser neutralizado utilizando-se acessórios nas luminárias como aletas ou difusores. Já para o ofuscamento indireto deve-se redimensionar o projeto luminotécnico, pois é causado pelo excesso de luz no ambiente.

O índice de proteção (IP) de uma luminária é o valor que indica a proteção que esta contém face a agentes externos, como a poeira, corpos sólidos ou humidade devendo a escolha ser executada conforme o local de instalação. O número IP é definido por um campo de dois dígitos colocados à direita da sigla IP, em que o primeiro corresponde ao grau de proteção contra a penetração de poeiras e corpos sólidos e o segundo corresponde ao grau de proteção contra a penetração de líquidos. [7]

### 3.4 Balastros Eletrónicos

Os balastros eletrónicos são considerados equipamentos auxiliares que são imprescindíveis para o acendimento das lâmpadas de descarga. Os balastros das lâmpadas fluorescentes são en-

carregados pelo pré-aquecimento dos elétrodos por forma a provocar a emissão dos eletrões, produzem a tensão de arranque para iniciar a descarga e limitam a corrente de funcionamento da lâmpada. Permitem também o melhoramento do rendimento das lâmpadas, através da conversão da frequência de 50Hz para alta frequência, entre valores de 25kHz até 40kHz. A conversão para estas elevadas frequências permite uma poupança energética entre 12 a 25% no consumo para a mesma quantidade de luz. [9]

A utilização de balastros eletrônicos têm imensas vantagens numa instalação elétrica como por exemplo:[31]

- **Aumento do rendimento luminoso** – as lâmpadas podem produzir cerca de mais 10% de luz para a mesma potência absorvida.

- **Anulação do efeito de flicker** – uma lâmpada a funcionar a 50HZ, a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero, produzindo o flicker. Também produz o efeito estroboscópico, que pode ser perigoso no caso de proximidade com máquinas rotativas (distorção visual). A lâmpada funcionando a alta frequência através do balastro eletrónico elimina-se o flicker.

- **Eliminação do ruído** – como os balastros eletrónico funcionam acima da gama audível de frequências, estas não são perceptíveis.

- **Aumento da duração de vida da lâmpada** – devido ao pré aquecimento dos elétrodos previamente à aplicação do impulso controlado de tensão, o desgaste do material emissor de eletrões dos elétrodos é diminuído.

- **Regulação do fluxo luminoso** – Nos balastros eletrónicos reguláveis existe a possibilidade de regulação do fluxo luminoso, permitindo uma poupança de energia principalmente nas zonas provisoriamente não ocupadas.

- **Redução do peso e tamanho** – Os componentes magnéticos num balastro eletrónico são mais compactos e leves em vez dos enrolamentos e núcleo de aço laminado dos balastros magnéticos.

### 3.4.1 Tipo de balastros eletrónicos

Os balastros eletrónicos podem-se classificar consoante a sua eficiência. Eles são divididos da seguinte forma, do mais eficiente ao menos eficiente:

A1: balastros eletrónicos com regulação dimmable;

A2: balastros eletrónicos com baixas perdas (alto rendimento);

A3: balastros eletrónicos standards

No sistema de regulação digital a regulação é efetuada por um sinal digital produzido pelo sistema de controlo. Através de botões de pressão é possível comandar, regular e mesmo programar instalações. Por exemplo, um toque rápido no botão de pressão pode permitir ligar ou desligar a iluminação, caso o toque seja prolongado é possível aumentar a luminosidade, parando e voltando a pressionar a luminosidade é diminuída.

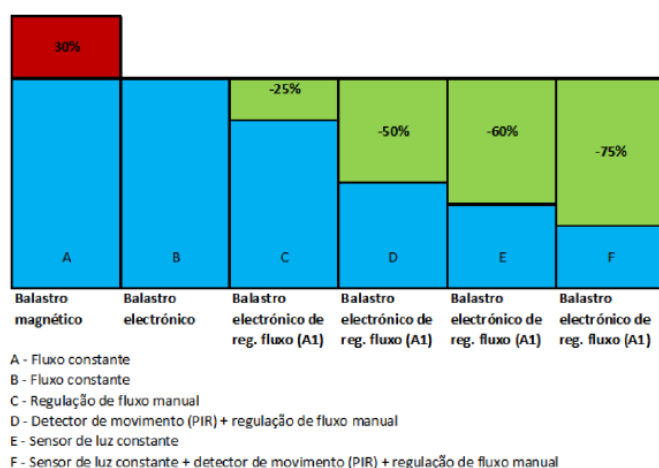


Figura 3.18: Comparação da poupança de energia obtida entre os balastros eletrónicos simples ou associados a outros dispositivos [9]

Observando a figura 3.18 podemos observar que através da integração de balastros eletrónicos, sensores de luz e detetores de presença consegue-se atingir reduções no consumo de energia até 75%.

Os balastros eletrónicos oferecem várias vantagens face aos balastros magnéticos, das quais se pode destacar que possuem um elevado fator de potência, um acréscimo na vida útil da lâmpada de cerca de 50%, permitem uma redução de energia que ronda os 20 a 30%, em caso de existência de anomalia as lâmpadas são automaticamente desligadas e devido à alta frequência não existe cintilação das lâmpadas. Após a análise das vantagens obtidas pelo balastro eletrónico é fácil analisar que é vantajoso nas instalações existentes, com balastros magnéticos, se efetue a substituição destes por balastros eletrónicos. [31]

### 3.5 Gestão de iluminação

Para existir uma boa eficiência e gestão da iluminação não basta ter o equipamento eficiente. Para permitir uma melhor gestão deve-se subdividir os circuitos de iluminação ao máximo. Para que a iluminação seja utilizada eficientemente é necessário analisar os espaços para determinar a quantidade e o tipo de iluminação mais adequados a cada um desses locais. A colocação de interruptores manuais só é vantajoso com a cooperação dos utilizadores de cada espaço. Para o caso de uma escola, isso não é possível por isso é recomendado a substituição deste tipo de interruptores por sistemas de comando automatizado. Estes sistemas permitem potencializar a utilização da iluminação proporcionando uma economia significativa de energia. Iremos abordar três métodos de gestão da iluminação que podem ser utilizados nos diferentes espaços.

### 3.5.1 Gestão Horária

Os equipamentos para um sistema de gestão horária são os seguintes:

#### 3.5.1.1 Automáticos de escada

Este equipamento é muito utilizado nas zonas de circulação ( escadas, corredores) onde a presença contínua de utilizadores é menos frequente. A iluminação é ativada por um botão de pressão (simples ou luminoso) sendo que desliga-se automaticamente após um tempo predefinido, tempo esse que é o tempo máximo que o utilizador demora a percorrer esse espaço. Também possuem um contacto de marcha forçada (interruptor ON/OFF) que permite a ativação permanente do automático de escada, para por exemplo, limpezas de manutenção do espaço. [32]

#### 3.5.1.2 Interruptor horário

Este interruptor permite ligar ou desligar a iluminação num horário pre-determinado. Existem dois tipos, os analógicos e os digitais. Os interruptores digitais permitem uma programação mais completa devido a proporcionarem mais opções de programação e permitirem comandar mais do que um circuito, sendo que apresentam como desvantagem o seu custo, que é superior aos analógicos. Um exemplo da sua aplicação é nas vitrines de lojas.[33]

#### 3.5.1.3 Interruptor Crepuscular

O interruptor crepuscular reage em função do nível de iluminação. Necessitam de uma sonda (célula fotoelétrica) para medição da intensidade luminosa. Comandam a abertura ou fecho de um contacto em função do nível medido. São utilizados por exemplo em anúncios luminosos.[34]

#### 3.5.1.4 Interruptor Astronómico

O funcionamento deste interruptor é semelhante ao do interruptor crepuscular sendo que a única diferença reside no fato de não necessitar de célula fotoelétrica, pois é programado em função da Longitude e Latitude.

### 3.5.2 Detecção de presença e movimento

Este tipo de detetores são por vezes confundidos e designados por detetores volumétricos. A sua função consiste em ligar a iluminação automaticamente sempre que detetarem movimentação, sendo que passado um tempo programado após o último movimento detetado, desligam a iluminação. A principal vantagem consiste na poupança de energia uma vez que desligam a iluminação sempre que não é necessária.

Estes sensores dividem-se em três categorias, infravermelhos passivos (PIR) que detetam a presença e movimento da energia infravermelha ou o calor libertado pelos seres humanos, detetores volumétricos de ultrassons que detetam a variação de ondas sonoras causadas pelo movimento

de um corpo e ainda os bi-volumétricos, aliando as duas tecnologias, os ultrassons e os infravermelhos. Os detetores de infravermelhos passivos (PIR) são os mais utilizados. Chamam-se passivos pelo fato de não emitirem radiação. Estes detetores têm um certo número de faces sensíveis. O seu raio de acção está assim cortado numa série de segmentos. É a passagem de um corpo (e portanto calor) do raio de visão de uma face sensível para a outra que permite detetar o movimento. Na imagem 3.19 podemos ver um exemplo das facetas sensíveis de um sensor deste tipo.

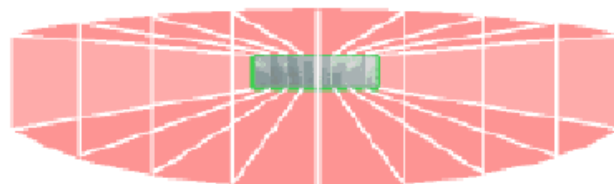


Figura 3.19: Facetas de um detetor de infravermelhos passivo

### 3.5.3 Gestão em função da luz natural

Quando os níveis de iluminância são adequados, por exemplo nas zonas próximas das janelas, a iluminação artificial não é necessária para assegurar o conforto visual. Por forma a utilizar a luz natural pode-se adotar algumas soluções que permitem uma poupança de energia.

#### 3.5.3.1 Comando on/off em função da luz exterior

Nas zonas onde a iluminação natural apresenta durante certos periodos os níveis luminosos necessários ao espaço, é possível dispensar a iluminação artificial na maior parte do periodo diurno, é possível regular a iluminação, desligando progressivamente filas de luminárias.



Figura 3.20: Exemplo de uma ligação com comando on/off

Na imagem 3.20 podemos ver um exemplo de como utilizar o comando on/off. Neste caso, como a iluminação natural é suficiente, desliga-se a fila de luminárias que estão situadas mais próximas da janela proporcionando uma poupança energética. O processo de utilização de um comando on/off deve ser acompanhado de um temporizador, de forma a evitar erros de regulação devido a variações bruscas pontuais e temporárias. Esta solução, do ponto de vista económico, é vantajosa dado o número reduzido de sensores necessários mas não é de fácil regulação, uma vez que depende muito da configuração do local.

### **3.5.3.2 Regulação Contínua do Fluxo em Função da Iluminação Interior**

Nos espaços em que a iluminação natural seja fraca, a iluminação artificial deve desempenhar um papel importante. Nesta caso é recomendável uma regulação contínua baseada no nível de iluminância interior. O nível de iluminância interior é que serve de grandeza representativa para a regulação. A regulação do fluxo luminoso neste sistema obriga a utilização de balastros eletrónicos com regulação de fluxo (do tipo A1). Alguns destes balastros permitem uma redução contínua do fluxo luminoso até aos 0%. Para que esta solução seja totalmente eficaz, deve ser complementada com um detetor de presença ou um interruptor horário de forma a evitar que as luzes se acendam sem a presença de qualquer pessoa no local.





## Capítulo 4

# AVAC

O termo AVAC é proveniente de HVAC - Heat, Ventilation and Air Conditioning e era utilizado em Portugal na década de 70 e resulta da evolução das técnicas utilizadas no tratamento e qualidade do ar interior. Os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) são responsáveis por controlar as condições de ar interior dos espaços para níveis desejados, ao nível da temperatura, humidade e ventilação [35]

### 4.1 Caracterização de Instalação e Sistema de AVAC

As instalações de AVAC, também correntemente designadas de Ar Condicionado ou de Climatização, têm por objetivo designar o processo de tratamento do ar, em função do número de transformações termodinâmicas.

Função Termodinâmica do Equipamento de Tratamento do Ar		Designação da Instalação	
Número	Tipo		
Nenhuma ou uma só	N	Ventilação	1 - N - Nenhuma (sem nenhuma função termodinâmica) A - Aquecimento R - Refrigescer (Arrefecimento) H - Humidificação D - Desumidificação
	A		
	R		
	H		
	D		
Duas	A / R	Climatização ou condicionamento do Ar parcial	2 - Quando se encontra prevista filtragem, adiciona-se um F (filtro).
	A / H		
	A / D		
	R / H		
	R / D		
Três	H / D	Climatização ou condicionamento do Ar parcial	
	A / R / H		
	A / R / D		
	R / H / D		
Quatro	R / H / D	Climatização ou condicionamento total do Ar	

Figura 4.1: Classificação geral dos sistemas das instalações de tratamento de ar

Neste enquadramento, pode considerar-se que uma instalação de AVAC corresponde a um sistema ou conjunto de sistemas de tratamento parcial ou total do ar (incluindo ou não ar exterior e consoante o número de transformações termodinâmicas realizadas), onde se incluem também

os equipamentos de produção dos fluidos térmicos para o aquecimento e/ou arrefecimento do ar e também todos os materiais e acessórios indispensáveis ao correto funcionamento da mesma, independentemente de possuir ou não filtragem.

#### 4.1.1 Sistemas de Ventilação

Define-se como ventilação o conjunto de processos que, de forma controlada, promovam os fluxos de ar entre o exterior e o interior.[36]

Os sistemas de ventilação podem ser definidos em duas formas: naturais ou mecânicos.

Podemos definir ventilação natural quando a circulação do ar resulta da diferença de pressão e da diferença de temperatura entre o interior e o exterior.

Enquanto que na ventilação mecânica a circulação do ar resulta da aspiração de um ventilador, originando que o local fique em depressão, com compensação de entrada de ar exterior, através de um dispositivo específico para o efeito. Também pode ser realizado o inverso, ou seja, promover a ventilação introduzindo ar novo o que origina uma sobrepressão do local. [35]

#### 4.1.2 Equipamentos das Instalações de AVAC

Alguns dos equipamentos que costumam estar presentes neste tipo de sistema são os seguintes: [35]

**Chiller** é uma máquina térmica que é responsável pelo arrefecimento da água e com a água gelada obtida a ser utilizada para arrefecimento da temperatura ambiente ou de equipamentos. Apresentam um longo período de vida útil, têm uma boa relação custo/benefício e uma alta eficiência;

**Caldeira** - Uma caldeira é um recipiente que tem acoplado um queimador, onde o combustível é queimado.. Este combustível é utilizado para alimentar a caldeira e criar o vapor necessário para o aquecimento da água. Esta água quente percorre toda a rede de tubagem até chegar aos diversos elementos emissores de calor - radiadores - que compõem o sistema. As caldeiras são projetadas de forma a transferir o calor para o sistema de aquecimento central e podem igualmente fornecer água quente sanitária instantânea.

**Bombas elétricas** - Tendo como fonte o ar exterior, as bombas elétricas extraem energia térmica do ambiente. O calor é movido entre os dois meios por intermédio de um fluido frigoregêneo. O sistema possui dois permutadores de calor, um para absorver o calor e outro para libertar o calor. A bomba extrai energia a uma certa temperatura, eleva essa temperatura e liberta-a num meio que geralmente é a água. Esta irá para os radiadores de baixa temperatura ou unidades ventilo-convetoras.

**Unidade de Tratamento de Ar Novo** - A unidade de tratamento de Ar Novo é uma unidade que trata o ar novo que irá ser fornecido ao edifício. Esse tratamento é efetuado através de filtragem, aquecimento, arrefecimento, humificação ou desumificação. Após isso, ele será

distribuído pelas condutas de ventilação. Essas condutas podem distribuir o ar condicionado ou volver o ar de extração.

#### 4.1.2.1 Equipamentos dos Sistemas de Tratamento do Ar

As unidades de tratamento do ar no processo de transformação de fluídos refrigerantes ou na produção de água refrigerada / quente necessitam de alguns componentes que serão abordados sucintamente de seguida:

**Recuperador de calor** - As instalações de Avac necessitam de uma grande quantidade de energia térmica, designadamente no tratamento do ar exterior introduzido nos sistemas para compensar as extrações do ar interior. O calor envolvido no ar interior, que será para extração, pode ser recuperado através de métodos como o controlo da entalpia, recuperador de calor rotativo ou recuperador de calor de placas. Todos os processos de recuperação de calor permitem economizar energia, mas necessitam de custos de investimento, mais ou menos relevantes, sendo necessário efetuar um cálculo da rentabilidade económica para cada caso.

**Filtro de ar** - executa uma retenção de impurezas sólidas, líquidas ou gasosas envolvidas no ar atmosférico. Os filtros podem ser para poeiras finas (pré-filtros) ou ultrafinas (filtros absolutos);

**Variador de velocidade** - Este equipamento é de extrema importância pelo facto de permitirem uma significativa redução da fatura energética. Estes equipamentos são unidades eletrónicas de potência que permitem o controlo contínuo da velocidade de motores de indução, convertendo a frequência da rede para outra frequência e, assim, controlam a velocidade do motor de forma proporcional à frequência. Nas instalações AVAC, as necessidades dos sistemas de aquecimento e refrigeração variam com a temperatura exterior, com a ocupação do edifício e com o nível de produção. Assim, os variadores de velocidade permitem importantes benefícios de eficiência energética uma vez que podem ou não abrandar um ventilador, por exemplo, em função da carga em cada momento



## Capítulo 5

# Sistema Tarifário em Portugal

Antes da realização do estudo dos diferentes tarifários existentes e proceder a análise da fatura da escola, é necessário proceder a uma breve revisão bibliográfica acerca dos tópicos mais importantes. Neste capítulo iremos aprofundar os conhecimentos sobre como é constituído o modelo tarifário em Portugal e quais as suas componentes.

O sistema tarifário tem como função, a promoção e a transparência da estrutura tarifária e dos proveitos permitidos às entidades reguladas do sector. Podemos afirmar que o sistema tarifário nacional é transparente, uma vez que a ERSE passa a disponibilizar publicamente, com periodicidade mensal, um resumo informativo sobre o mercado liberalizado, procurando, desta forma, dar igualmente resposta a um crescente número de solicitações de informação. Também podemos considerar o sistema nacional como sustentável, uma vez que as tarifas são estabelecidas com o objetivo de proporcionar às empresas reguladas um valor de proveitos calculado de acordo com as formulas constantes no Regulamento Tarifário. Os valores das tarifas são publicados anualmente, sempre no final do ano anterior àquele onde os valores entram em prática, enquanto que os períodos de regulação são publicados de três em três anos, sendo que as regras para o período regulatório seguinte são divulgadas no fim do último ano do período regulatório anterior. [37]

### 5.1 Liberalização do Setor

A liberalização do mercado de eletricidade em Portugal está em curso desde 1995 começando por incluir os clientes de maiores consumos e de níveis de tensão mais elevados e desde 4 de Setembro de 2006 que se concretizou a ultima etapa de liberalização, em que todos os consumidores de eletricidade puderam escolher o seu comercializador no mercado liberalizado de eletricidade. A liberalização do sector tem como objetivo a melhoria da qualidade de serviços, o aumento da concorrência, com reflexos ao nível dos preços e uma maior satisfação dos consumidores. [37]

No gráfico 5.2, apresenta-se a evolução das tarifas de venda a clientes finais por parte do Comercializador de ultimo recurso (CUR).

Neste momento, O mercado livre de eletricidade alcançou um número acumulado de cerca de 4,45 milhões clientes. [38]

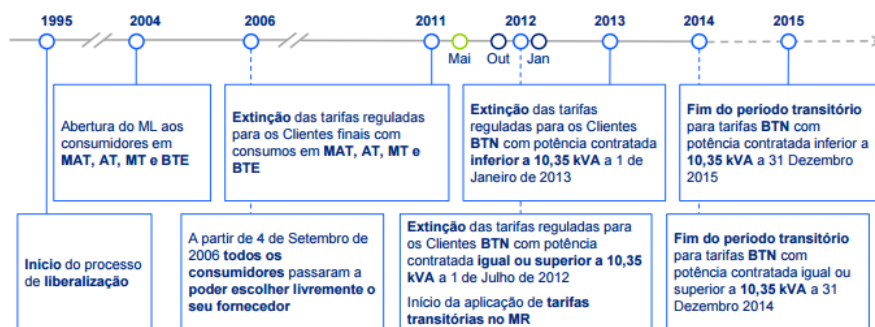


Figura 5.1: Processo de liberalização do mercado de electricidade

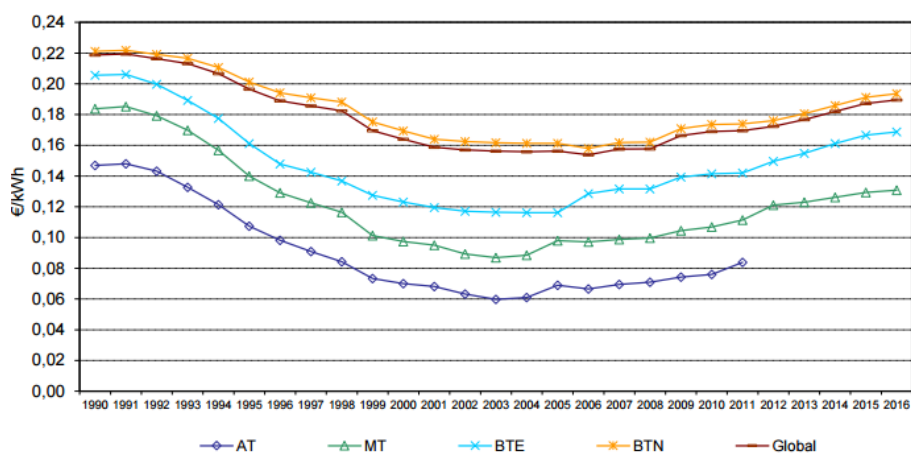


Figura 5.2: Evolução das tarifas de venda a Clientes Finais em Portugal Continental

### 5.1.1 Modelos Tarifários

Podemos definir dois modelos tarifários distintos: os modelos tarifários regulados e os modelos tarifários livres.[39]

Os modelos tarifários regulados são aqueles em que os valores das tarifas são impostos por um órgão regulador, independente dos consumidores e dos comercializadores, como se pode observar na figura 5.3

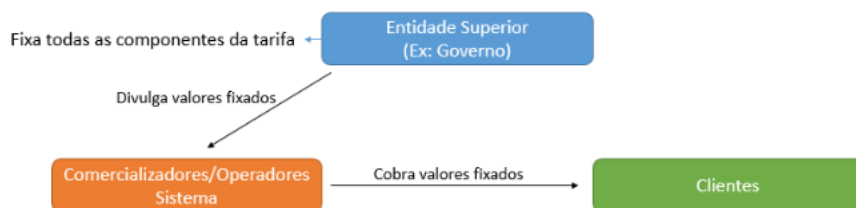


Figura 5.3: Modelo Regulado

No caso dos modelos tarifários no comércio livre, existe uma negociação entre os comercializadores e os consumidores de modo a ser possível adaptar as tarifas consoante o tipo de consumo e as necessidades do utilizador, representado na figura 5.4

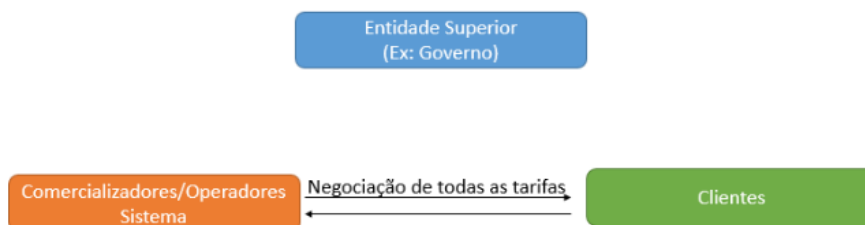


Figura 5.4: Modelo Liberalizado

Quanto às diferentes componentes, qualquer tarifa de energia, paga pelos consumidores finais, é constituída pelas seguintes três parcelas [40]:

- Tarifa de Energia (TE): tarifa deve proporcionar os proveitos da atividade de compra e venda de energia elétrica, recuperando os custos com a aquisição de energia elétrica para fornecimento de clientes
- Tarifa de Comercialização (TC) : reflete a margem de ganho do comercializador pelo seu serviço;
- Tarifa de Acesso às Redes (TA) : tarifa que é composta por três tarifas simples distintas:
  - Tarifas de Uso da Rede de Transporte (TURT) : deve proporcionar os proveitos da atividade de Transporte de Energia Eléctrica, recuperando os custos com a operação e manutenção das redes de transporte.;
  - Tarifa do Uso da Rede de Distribuição (TURD) : a aplicar pelo operador da rede de distribuição para o uso das redes de AT, MT e BT (baixa tensão).
  - Tarifa do uso Global do Sistema (TUGS): devem proporcionar os proveitos da atividade de Gestão Global do Sistema, recuperando designadamente custos com a operação do sistema e custos decorrentes de medidas de política energética, ambiental ou de interesse económico geral.

As tarifas de acesso às redes são pagas por todos os consumidores, independente do comercializador, sendo anualmente fixadas pela entidade reguladora (ERSE). No mercado regulado todas as tarifas são fixadas anualmente pela ERSE e o comercializador não tem possibilidade de puder negociar com o cliente. Os clientes que escolherem o seu comercializador de mercado liberalizado têm como obrigação pagar as tarifas de acesso às redes tal como foi mencionado anteriormente e negociam livremente os preços de fornecimento de Energia e de Comercialização com o seu comercializador.

## 5.2 Tarifários

Os tarifários portugueses encontram-se divididos por tensão em 5 grandes grupos:

- 1) **Muito Alta Tensão (MAT)** - tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 110 kV
- 2) **Alta Tensão (AT)** - tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 45 kV e igual ou inferior a 110 kV
- 3) **Média Tensão (MT)** - tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 1 kV e igual ou inferior a 45 kV
- 4) **Baixa Tensão Especial (BTe)** - tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1 kV com a potencia contratada superior a 41,4 kW
- 5) **Baixa Tensão Normal (BTn)** - tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1 kV com a potencia contratada inferior ou igual a 41,4 kW

### 5.2.1 Componentes Tarifárias

Os tarifários em Portugal podem apresentar diferentes valores, dependendo da forma como estão a ser avaliados. Existem duas situações, os que são de período trimestral e os que são de período horário. [41]

Em relação aos períodos trimestrais, eles são definidos da seguinte forma:

- 1º Período** - Entre 1 de Janeiro e 31 de Março
- 2º Período** - Entre 1 de Abril e 30 de Junho
- 3º Período** - Entre 1 de julho e 30 de Setembro
- 4º Período** - Entre 1 de Outubro e 31 de Dezembro

Como podemos observar, eles são separados consoante seja época de Inverno (período 1 e 4) ou seja época de verão (período 2 e 3)

Referente aos períodos horários, eles são classificados da seguinte forma:

**Super Vazio** - nas horas em que o consumo de energia elétrica é muito reduzido levando a uma tarifa mais reduzida.

**Vazio** - nas horas em que o consumo é reduzido mas superior ao das horas de super vazio, originando que a tarifa seja ligeiramente mais elevada que a de Super Vazio, mas sendo mesmo assim reduzida.

**Cheia** nas horas em que o consumo de energia elétrica já é considerável, fazendo com que o valor da tarifa também aumente.

**Ponta** nas horas em que existe o maior consumo de energia elétrica, levando a custos das atividades mais altos e fazendo com que a tarifa atinja o seu valor máximo.

### 5.2.2 Tipos de Ciclo

Os ciclos de horários de entrega de energia elétrica previstos no Regulamento Tarifário para clientes finais em MT, como é o caso da Escola Fontes Pereira de Melo são diferenciados em



Ciclo Diário, Ciclo Semanal e Ciclo Semanal Opcional. Nas seguintes tabelas são apresentados para cada um dos ciclos horários, as respectivas distribuição dos períodos horários. [41]

Ciclo Diário		Horário Inverno		Duração(h)	Horário Verão	Duração(h)
Dias úteis	Ponta	9:00 - 10:30			10:30 - 13:00	
		18:00 - 20:30	4		19:30 - 21:00	4
	Cheias	8:00 - 9:00			8:00 - 10:30	
		10:30 - 18:00			13:00 - 19:30	
		20:30 - 22:00	10		21:00 - 22:00	10
	Vazio	06:00 - 08:00			22:00 - 02:00	
	S. Vazio	22:00 - 02:00	6		06:00 - 08:00	6
		02:00 - 06:00	4		02:00 - 06:00	4

Figura 5.5: Períodos horários para ciclo diário

Os ciclos diários têm a mesma distribuição dos períodos diários de segunda-feira a domingo e devem respeitar um determinado número de horas de um período por dia, que pode ser encontrado na Tabela 5.5. A distribuição das horas de cada período ao longo do dia é definida pelos fornecedores de energia elétrica. É normalmente favorável às entidades que tenham período de funcionamento durante 5 dias por semana.

Ciclo Semanal Opcional		Horário Inverno		Duração(h)	Horário Verão	Duração(h)
Dias úteis	Ponta	17:00 - 22:00			14:00 - 17:00	
			5			3
	Cheias	00:00 - 00:30			00:00 - 00:30	
		07:30 - 17:00			07:30 - 14:00	
		22:00 - 24:00	12		17:00 - 24:00	14
	Vazio	00:30 - 02:00			00:30 - 02:00	
	S. Vazio	06:00 - 07:30	3		06:00 - 07:30	3
		02:00 - 06:00	4		02:00 - 06:00	4
Sabado	Cheias	10:30 - 12:30			10:00 - 13:30	
		17:30 - 22:30			19:30 - 23:00	
	Vazio		7			7
		00:00 - 03:00			00:00 - 03:30	
		07:00 - 10:30			07:30 - 10:00	
	Vazio	12:30 - 17:30			13:30 - 19:30	
	S. Vazio	22:30 - 24:00	13		23:00 - 24:00	13
		03:00 - 07:00	4		03:30 - 07:30	4
Domingo	Vazio	00:00 - 04:00			00:00 - 04:00	
		08:00 - 24:00	20		08:00 - 24:00	20
	S. Vazio	04:00 - 08:00	4		04:00 - 08:00	4

Figura 5.6: Períodos horários para ciclo semanal opcional

Em relação aos ciclos semanais a distribuição dos períodos horários ao longo dos dias modifica ao longo da semana. Existem três períodos diferentes, de segunda-feira a sexta-feira, sábado e domingo, para cada um desses períodos a distribuição dos períodos horários é diferentes e o número de horas diárias de cada período horário também. Mais uma vez haverá diferenciação para Inverno e Verão, como se pode constatar nas tabelas 5.6 e 5.7.

Ciclo Semanal		Horário Inverno	Duração(h)	Horário Verão	Duração(h)
Dias úteis	Ponta	9:30 - 12:00	5	09:15 - 12:15	3
		18:30 - 21:00			
	Cheias	7:00 - 9:30	11	7:00 - 09:15	14
		12:00 - 18:30		12:15 - 24:00	
	Vazio	00:00 - 02:00	3	00:00 - 02:00	3
S. Vazio	06:00 - 07:00	4	06:00 - 07:00	4	
Sabado	Cheias	02:00 - 06:00	7	02:00 - 06:00	7
		09:30 - 13:00		09:00 - 14:00	
		18:30 - 22:00	20:00 - 22:00		
		Vazio	00:00 - 02:00	13	00:00 - 02:00
		06:00 - 09:30		06:00 - 09:00	
	13:00 - 18:30		14:00 - 20:00		
Domingo	S. Vazio	22:00 - 24:00	4	22:00 - 24:00	4
	Vazio	02:00 - 06:00	20	02:00 - 06:00	20
		00:00 - 02:00		00:00 - 02:00	
	S. Vazio	06:00 - 24:00	4	06:00 - 24:00	4

Figura 5.7: Períodos horários para ciclo semanal

É importante referir ainda que em média tensão nos ciclos semanais, os feriados nacionais são considerados como períodos de vazio.

Os tarifários ainda suportam outra entidade (exceto os BTN), que é o tipo de utilização, e esta faz referência à quantidade de energia consumida pelos utilizadores durante um determinado espaço de tempo. Esta entidade pode assumir três tipos diferentes, curtas utilizações, médias utilizações e longas utilizações. Em relação a esta entidade, por exemplo se considerarmos uma grande quantidade de energia gasta num período de tempo pequeno, o tipo de utilização equivalente seria curta utilização, no entanto se houver um grande consumo de energia a todas as horas, o mais indicado seria o de longas utilizações.

No capítulo 8, em que será realizado o estudo da fatura da escola, serão abordados todos os tipos de tarifários acima mencionados.

### 5.2.3 Tarifas Transitórias em rede MT para Portugal Continental

Em seguida podemos observar o valor das tarifas em rede de Média Tensão, que é o caso da escola Fontes Pereira de Melo, afixadas pela entidade reguladora para o ano de 2016.

Energia activa		(EUR/kWh)	
Tarifa de longas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1368
		Horas cheias	0,1074
		Horas de vazio normal	0,0757
		Horas de super vazio	0,0646
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1397
		Horas cheias	0,1096
		Horas de vazio normal	0,0784
		Horas de super vazio	0,0720
Tarifa de médias utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,1429
		Horas cheias	0,1108
		Horas de vazio normal	0,0770
		Horas de super vazio	0,0657
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,1487
		Horas cheias	0,1108
		Horas de vazio normal	0,0808
		Horas de super vazio	0,0720
Tarifa de curtas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta	0,2139
		Horas cheias	0,1192
		Horas de vazio normal	0,0810
		Horas de super vazio	0,0721
	Períodos II, III	Horas de ponta	0,2135
		Horas cheias	0,1191
		Horas de vazio normal	0,0815
		Horas de super vazio	0,0758

Figura 5.8: Tarifas transitórias de venda a clientes finais em Portugal continental em 2016 publicadas pela ERSE



## Capítulo 6

# Sistemas de aproveitamento de energia solar

Energia solar é uma fonte de energia alternativa e renovável que é proveniente da luz e do calor do Sol. A utilização do abundante fluxo de energia solar, sem danos ao meio ambiente, representa uma opção bastante viável e capaz de fornecer energia barata e limpa.

A radiação que atinge a terra depende da latitude e de condições atmosféricas como nebulosidade e humidade relativa do ar. Quanto maior a incidência de irradiação solar direta, o que implica pouca intensidade de nuvens e baixos índices pluviométricos, melhor o aproveitamento para a geração de energia solar.

Existem dois tipos principais de tecnologias para aproveitamento de energia solar, um com o objetivo de produzir eletricidade, o sistema fotovoltaico, outro com o objetivo de aquecer as águas sanitárias ou o ar ambiente, o sistema solar térmico

### 6.1 Sistema Solar Térmico

Um sistema Solar térmico é uma instalação que permite utilizar a inesgotável fonte de energia natural que é o sol. Nestes sistemas, a energia é captada através de painéis solares térmicos, também chamados de coletores solares. São os sistemas mais simples, económicos e conhecidos de aproveitar o sol, para o aquecimento de água para chuveiros ou piscinas, aquecimentos de ambientes ou até em processos industriais. Os painéis são simples e têm a função de transferir o calor da radiação solar para a água ou óleo que passa por dentro deles para então ser utilizado como fonte de calor.

Apesar de existirem diferentes sistemas de aquecimento solar de água, na sua generalidade o sistema consiste de um painel solar térmico que contém tubos em cobre no seu interior, dentro desses tubos circula um líquido ou gás (não tóxico) especialmente selecionado pelas suas características termodinâmicas, que se movimenta lentamente dentro do tubo de cobre, absorvendo assim o calor que existe nos tubos (proveniente da energia do sol). Dependendo do painel utilizado (fabricante, modelo, etc) a temperatura do líquido pode mesmo atingir os 200°C.

Quando o líquido se encontra suficientemente quente, é transferido para um permutador de calor. O permutador de calor consiste em um cilindro de água semelhante ao utilizado para aquecer a água do chuveiro, mas em vez de utilizar resistências elétricas para aquecer a água dentro do cilindro, é utilizado o calor elevado a que se encontra o fluido que circula dentro dos tubos de cobre. Assim, o fluido nunca entra em contacto com a água, e a água é aquecida pela transferência de calor do cobre para a água.

A água aquecida é mantida num tanque isolado termicamente, assim, mesmo que a água tenha sido recolhida no dia anterior, ainda pode ser usada para tomar banho na manhã seguinte. [42]

Estes tipos de sistemas podem ser divididos em duas categorias tendo em conta o objetivo final, o solar térmico para aquecimento de água e o solar térmico para aquecimento do ar de habitações, ventiladores comerciais e secagem de colheitas. É claro que estes dois tipos de sistemas têm diferenças ao nível estrutural, visto que um aquece água e o outro o ar que provém do espaço exterior

## 6.2 Sistema Fotovoltaico

Diariamente, uma grande quantidade de energia chega ao nosso planeta de forma gratuita e limpa. Os raios solares, além de trazerem a luz e o calor essencial para a vida na Terra, podem ser aproveitados para a geração de eletricidade. Esta energia pode ser aproveitada através da tecnologia denominada energia Solar Fotovoltaica, que é uma fonte de energia renovável obtida pela conversão de energia luminosa em energia elétrica

O efeito fotovoltaico acontece quando a luz solar, através de seus fótons, é absorvida pela célula fotovoltaica. A energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que então ganham a capacidade de movimentar-se. O movimento dos elétrons, por sua vez, gera a corrente elétrica. As células fotovoltaicas podem ser dispostas de diversas formas.[43]. O material frequentemente mais utilizado nas células é o silício. Por ser o segundo elemento mais abundante da face da terra, não há limites com relação à matéria-prima para produção de células solares.[44].

## 6.3 Energia Fotovoltaica Mundial e em Portugal

A partir do ano 2000 é possível observar um elevado crescimento da produção de eletricidade a partir da tecnologia fotovoltaica. Este crescimento constante tem originado uma maior competitividade deste mercado na produção de energia elétrica. Porém, este desenvolvimento não tem sido similar em todo o Mundo. Isto deve-se ao facto de cada País possuir os seus próprios regulamentos e incentivos assim como facilidades de financiamento a este tipo de recurso.

No ano de 2014, em termos de potência instalada, verificou-se um crescimento bastante acentuado em todo o Mundo. A potência instalada obteve um aumento de 127%, passando de 138900 MW em 2013 para o valor de 177000 em 2014, como é possível verificar na figura 6.1. E em 2015 o aumento ainda foi maior, pois é estimado que o valor tenha sido de 233000 MW, representando um crescimento de 55000, ou seja 132%.[45]

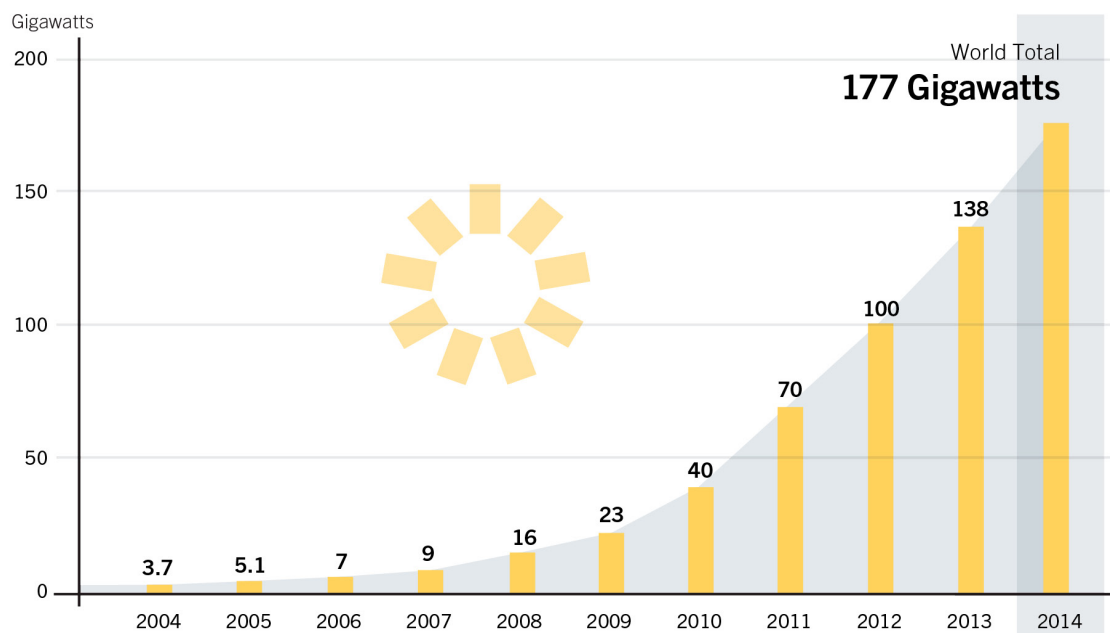


Figura 6.1: Crescimento da produção Solar Fotovoltaica entre 2004 e 2014 [10]

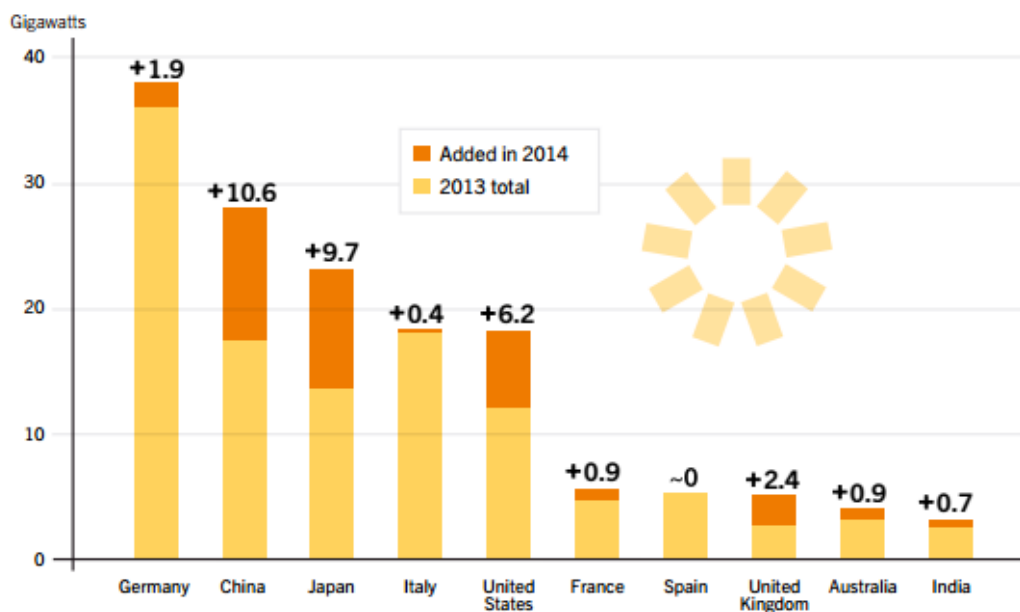


Figura 6.2: Percentagem de crescimento de cada país referente ao Fotovoltaico em 2014 [10]

Da tabela 6.1 é possível observar as enormes diferenças existentes de valores entre os vários países do Mundo. Em termos de potência total instalada a Alemanha lidera com 38GW até 2014. Este valor representa cerca de 22% da capacidade mundial instalada. É importante referir que a China encontra-se num processo muito acentuado de crescimento nesta área, sendo já o 2º país com a maior produção no Mundo, e tendo como objetivo ser o país com o valor mais elevado em

Tabela 6.1: Valores da Produção Fotovoltaica Mundial entre 2005 e 2014

País	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Total	5340	6915	9443	15772	23210	39778	69684	102024	138900	177000
U.E	2299	3285	5257	10554	16357	29325	51360	68640	78970	86674
Alemanha	1926	2759	3835.5	5340	9959	17320	24875	32411	35600	38128
China						893	3093	8043	19800	28100
Japão	1421.9	1708.5	1918.9	2144	2627	3617	4914	6704	13600	23300
USA	479	624	830.5	1168.5	1255.7	2519	4383	7665	12100	18600
Itália	37.5	50	120.2	458.3	1157	3502	12764	16987	18400	18500
França	33	43.9	75.2	179.7	335.2	1025	2831	3843	4598	5700
Portugal	3	3.4	17.9	68	102.2	131	144	244	278	

2017, tendo como objetivo o valor de 70 GigaWatts [46]. É importante notar que devido ao facto de a Alemanha liderar a potencia instalada, mas também o desenvolvimento da Itália neste tipo de investimento, originou que a Europa seja o continente com maior envolvimento na energia Fotovoltaica, representando um valor de praticamente 50% a nível mundial. Isto ilustra bem o facto de a União Europeia cada vez impulsionar o desenvolvimento deste tipo de energia. Este crescimento irá cada vez ser maior, sendo que se prevê que em 2019 a capacidade instalada de Fotovoltaico seja de 498GW, e alcançando o valor de 652GW em 2025, sendo os países do continente asiático os maiores impulsionadores deste crescimento, contribuindo com 53% da produção mundial, sendo a China o maior produtor obtendo o valor de 198GW. [47].

Em Portugal, tal como noutros países, a procura e a implementação de projetos fotovoltaicos tem crescido nos últimos tempos. A atividade de micro geração teve início em 2002. Porém, o seu grande desenvolvimento ocorreu em 2007, com a publicação do Dec. Lei nº 363/2007 de 2 de Novembro.

A legislação atualmente aplicável a novos projetos de produção renovável a partir de energia solar, está vertida num conjunto de legislação, da qual se destaca o Decreto-Lei nº 153/2014 de vinte de Outubro. [48]

Analisando a tabela 6.1, podemos verificar que até ao ano de 2007, a energia fotovoltaica possuía um peso praticamente insignificante na produção natural, contudo a partir dos anos de 2008 verificou-se um aumento bastante acentuado, fruto do investimento do país na construção de novas centrais. Neste momento, Portugal possui uma potência instalada acumulada de 278 MW, mas em comparação com a Itália e a Alemanha, continua bastante distante. Apesar do maior investimento neste tipo de recurso, observamos que o investimento continua a ser bastante baixo, em relação com os outros países da Europa, uma vez que Portugal está localizado numa zona geográfica privilegiada do ponto de vista da incidência de radiação solar, apresentando um número médio anual de horas de Sol que varia entre 2200 a 3000 horas, sendo um dos países da Europa com maior incidência de radiação solar, uma vez que se for feita a comparação com o maior produtor de energia fotovoltaica do mundo, a Alemanha varia entre as 1200 e as 1700 horas, o que revela a falta de aproveitamento de Portugal neste recurso natural. [49]



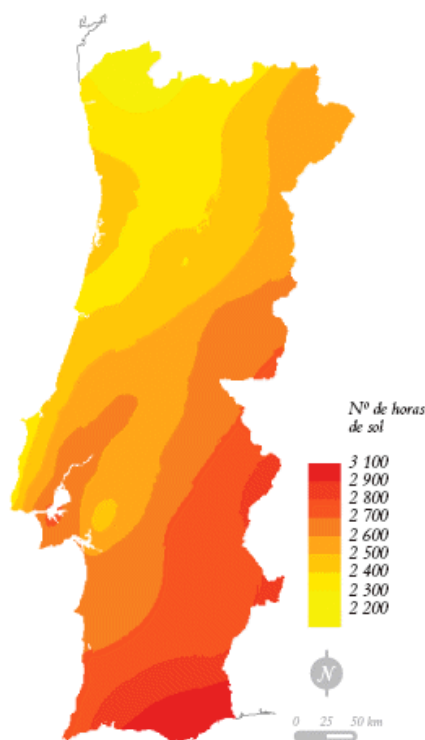


Figura 6.3: Insolação anual em Portugal

Observando a figura 6.3, podemos concluir que a energia fotovoltaica tem a sua maior expressão naturalmente no centro e no Sul do país devido a estarem sujeitos a um maior número de horas de sol, com grande ênfase no Baixo Alentejo, zona onde existe uma grande concentração de projetos de aproveitamento de energia solar fotovoltaica

## 6.4 Componentes de um sistema fotovoltaico

Os componentes que fazem parte de um sistema fotovoltaico são:

- 1) Painel Fotovoltaicos
- 2) Controlador de Carga
- 3) Bateria
- 4) Inversor

A captação da radiação solar é feita através dos painéis FV, que por sua vez produz uma determinada tensão aos seus terminais. A corrente produzida pelos painéis FV é contínua, mas varia de intensidade dependendo da radiação solar incidente. Existem principalmente dois tipos de reguladores de carga cuja função é proteger e regular o nível energético das baterias. No caso de existirem equipamentos que funcionem com corrente alternada (AC) e pelo facto dos

painéis FV produzirem corrente contínua (DC), então é necessária a utilização de inversores para transformar a corrente contínua (DC) em corrente alternada (AC). As baterias funcionam como armazenamento da energia produzida pelos módulos FV e para assegurar as necessidades das cargas. [50]

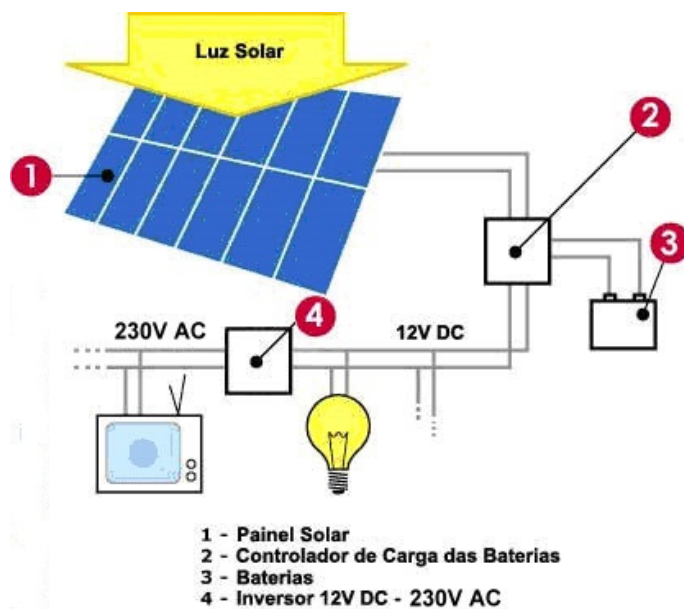


Figura 6.4: Constituintes de um Sistema Fotovoltaico [11]

### 6.4.1 Painel Solar

Ao conjunto de células fotoelétricas denomina-se por painel solar fotovoltaico. O painel solar é constituído por uma ou mais placas solares onde se encontram as células fotovoltaicas, responsáveis por converter parte da energia luminosa do sol em energia elétrica, com um valor que depende da radiação solar recebida. A eficiência das células ronda entre os 14% a 28 %.[51]

O tamanho do painel é definido de acordo com a necessidade de potência da instalação. Como essa necessidade é muito variável, sendo específica para cada situação particular, o que se usa fazer é agrupar mais de uma placa, quando necessário, para constituir o painel nas dimensões desejadas. Sendo assim, podemos encontrar painéis formados por apenas uma placa solar, ou painéis constituídos por várias placas. É responsável pelo fornecimento da energia solar para acionar as cargas e ou para carregar baterias, para posterior utilização. A quantidade de energia fornecida pelo painel depende da sua área coletora. Quanto maior for essa área, maior será a energia elétrica fornecida. A energia elétrica fornecida pelo painel solar depende também da intensidade de brilho solar.

O painel solar precisa ser bem posicionado para que receba o máximo de sol, ao longo do dia, durante todos os dias do ano. A condição ideal de aproveitamento de energia seria promover o acompanhamento diário do sol com o painel, procurando manter a face do mesmo, sempre

perpendicular aos raios solares. No entanto é um processo que envolveria mecanismos automáticos demasiado complexos o que inviabilizaria economicamente o sistema. Por essa razão, procura-se fazer a sua instalação com um ângulo intermédio, que, mesmo permanecendo fixo, ele possa proporcionar o maior aproveitamento de energia possível. Dessa forma, o sistema torna-se muito mais simples e o aproveitamento de energia não fica comprometido, pois, as maiores perdas de radiação solar irão acontecer pela manhã e ao entardecer, momentos em que o fluxo de radiação solar é relativamente baixo. Nos momentos do dia de máxima insolação, que ocorre entre 11 horas e 14 horas, o painel estará com a sua face bem posicionada em relação ao sol.

O local onde o painel será instalado deverá ser limpo, de fácil acesso e sem a presença de obstáculos que possam sombrear o painel. Além disso, ele deverá ficar o mais próximo possível do local onde as cargas elétricas serão instaladas.

#### **6.4.2 Controlador de Carga**

O segundo elemento, o controlador de carga, é um dos principais componentes do sistema fotovoltaico, tendo como função principal monitorizar a tensão dos acumuladores das baterias, protegendo as baterias das sobrecargas. Este equipamento é considerado fundamental para preservar as baterias, aumentando sua vida útil. [52] O controlador permite que as baterias sejam carregadas completamente e evita que sejam descarregadas abaixo de um valor seguro. É instalado eletricamente entre o painel fotovoltaico e as baterias. Os circuitos de um Controlador de Carga “lêem” a tensão das baterias para determinar seu estado de carga. Os circuitos internos dos controladores variam, mas a maioria dos controladores lêem a tensão para controlar a intensidade de corrente que flui para as baterias, na medida em que estas se aproximam da sua carga máxima. [53]

#### **6.4.3 Bateria**

Numa utilização residencial, o armazenamento de energia é um tema central no aproveitamento da energia solar, dado que a produção e o consumo de energia não coincidem, quer ao longo do dia quer ao longo do ano. A energia solar produzida durante o dia não é, normalmente, utilizada antes do início da noite, sendo por este motivo necessário armazená-la. Os períodos de dias sucessivos sem sol também devem ser tidos em conta. Portanto o seu objetivo passa por assegurar a alimentação dos consumos de energia elétrica nos períodos em que o recurso solar não está disponível. [52]

#### **6.4.4 Inversor**

Os inversores são um dos componentes do sistema FV, cuja função é converter a energia de corrente contínua (DC) do sistema FV para corrente alterna (AC), permitindo a ligação de equipamentos convencionais que funcionam a corrente alterna ao sistema FV. Os inversores utilizados para instalações FV, são dimensionados em função da potência do sistema FV. São também dimensionados em função da tensão de entrada que é dada pelo somatório dos painéis ligados em série.

Por sua vez deve-se ter atenção no seu dimensionamento, as situações em que está a funcionar no inverno e no verão visto que a tensão depende da temperatura. [\[52\]](#)

## Capítulo 7

# Caracterização do Sistema Atual

As escolas são edifícios de serviços com um ambiente de trabalho particular. Geralmente, o horário de funcionamento inicia-se de manhã cedo e termina no final da tarde, com exceções para as escolas que tenham cursos nocturnos, como é o caso desta escola, em que para algumas divisões este horário estende-se durante a noite. No entanto, não existe uma utilização regular de muitas das divisões ocupadas (instalações sanitárias, balneários ou bufete). O uso eficiente da energia nestes edifícios está dependente de uma gestão correta das instalações e de uma manutenção qualificada. Além disso, os fatores nos quais esta eficiência se deve basear são a estrutura do edifício, a iluminação, o uso tecnológico, os sistemas de aquecimento e a densidade ocupacional das divisões da escola.

O presente capítulo caracteriza os edifícios presentes na Escola Secundária Fontes Pereira de Melo.

### 7.1 Identificação e Caracterização do Edifício

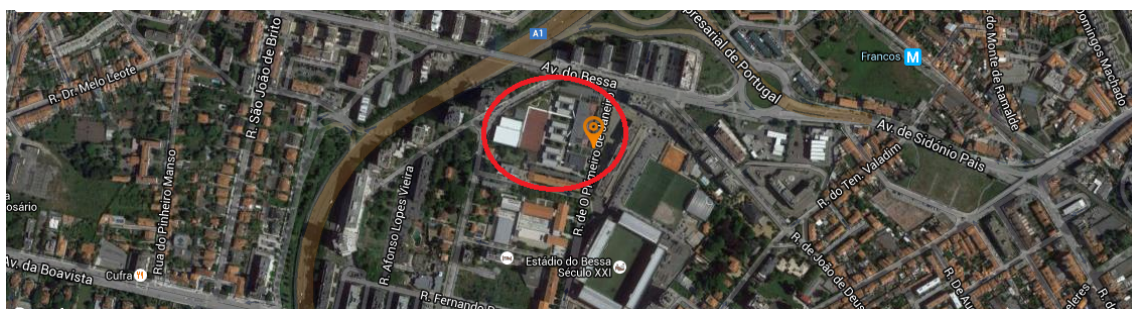


Figura 7.1: Localização geográfica do edifício

O edifício está localizado na cidade do Porto, estando localizada na rua O Primeiro de Janeiro, na freguesia de Ramalde e foi uma das escolas que teve intervenção por parte da empresa Parque Escolar (PE), tendo sido feitas profundas obras de remodelação ao nível dos quatro blocos de salas

de aula e o edifício principal foi construído de raiz e redimensionado.. De realçar que nesta escola existem aulas no regime diurno e noturno.



Figura 7.2: Escola Secundária Fontes Pereira de Melo

A escola encontra-se dividida em blocos, sendo a sua estrutura a seguinte:

**Bloco A1:** edifício constituído por 3 pisos, constituído maioritariamente por salas de aulas e laboratórios e suas respetivas salas de preparação. A sua constituição esta descrita nas tabelas 7.1, 7.2, 7.3

Tabela 7.1: Piso 0 do Bloco A1

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A1.1.1	Sala Aula	59.3
A 3.1.2	Sala Preparação Física	36
A 2.2	Sala Física	77.8
A 2.3.1.1	Laboratório Química	80.4
A 2.3.1.2	Laboratório Química	74.5
A 3.2.2	Sala Preparação Química	37.1
A 3.2.3	Gabinete Trabalho	36.1
F 6.1	Instalações Sanitárias	53.8
F 6.1.1.1	I.S Masculinas	13.8
F 6.1.2.1	I.S. Femininas	13.8
F 6.1.3.1	I.S. Deficientes	6.5
F 8.1.1	Instalações Técnicas Avac	15.8
F 8.1.2	Instalações Técnicas Avac	18.6
F 8.2.1	Instalações Técnicas Servidor	4.6
	Corredor Circulação Direita	51.14
	Corredor Circulação Esquerda	51.14
	Corredor Circulação Cima	20.11
	Corredor Circulação Baixo	20.11
	Escadas	20.64

Tabela 7.2: Piso 1 do Bloco A1

Local	Descrição	Area (metros quadrados)
A 1.1.2	Sala Aula	58.8
A 1.1.3	Sala Aula	57.6
A 1.1.4	Sala Aula	58.8
A 1.1.5	Sala Aula	54.4
	Sala Aula Pequena	38.73
	Sala de Preparação	36
A 3.3.1	Laboratório Biologia	78
A 3.4.1	Laboratório Polivalente	80.2
F 8.1.3	Instalações Técnicas Avac	15.8
F 8.1.4	Instalações Técnicas Avac	18.6
	Corredor Circulação Direita	51.14
	Corredor Circulação Esquerda	51.14
	Corredor Circulação Cima	20.11
	Corredor Circulação Baixo	20.11
	Escadas	20.64

Tabela 7.3: Piso 2 do Bloco A1

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A1.1.6	Sala Aula	58.5
A1.1.7	Sala Aula	59.6
A 1.1.8	Sala Aula	80.2
A1.1.9	Sala Aula	58
A1.1.10	Sala Aula	59.5
A1.1.11	Sala Aula	58.5
A1.1.12	Sala Aula	54.4
A1.2.1	Sala Pequenos Grupos	39
F8.1.5	Instalações Técnicas Avac	15.8
F8.1.6	Instalações Técnicas Avac	18.6
	Corredor Circulação Direita	51.14
	Corredor Circulação Esquerda	51.14
	Corredor Circulação Cima	20.11
	Corredor Circulação Baixo	20.11
	Escadas	20.64

**Bloco A2:** edifício constituído por 3 pisos, tendo como principal destino os alunos dos cursos qualificantes de informática e eletrónica, nas tabelas [7.4](#) , [7.5](#), [7.6](#)

**Bloco A3:** edifício constituído por 3 pisos, destina-se às aulas, clubes e salas de estudo do ensino básico, representadas nas tabelas [7.7](#) , [7.8](#), [7.9](#)

**Bloco A4:** edifício constituído por 3 pisos, estando vocacionado para as aulas dos cursos de Mecânica e Energias Renováveis, como se pode constatar na tabela na tabela [7.10](#)

**Bloco A5:** bloco administrativo e outros serviços e espaços, como o bar, o centro de recursos educativos, o pavilhão polivalente, e ainda os gabinetes da direção e dos diretores de turma e o

Tabela 7.4: Piso 2 do Bloco A2

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A1.1.13	Sala Aula	59.7
A1.1.14	Sala Aula	59.6
A1.1.15	Sala Aula	59.3
A1.1.16	Sala Aula	38.9
A1.1.17	Sala Aula	54.3
A1.1.18	Sala Aula	58.8
A1.1.19	Sala Aula	58.4
A1.1.20	Sala Aula	78.8
F8.1.11	Instalações Técnicas	15.8
F8.1.12	Instalações Técnicas	18.8
	Circulação	148.4
	Escadas 1	17.4
	Escadas 2	23

Tabela 7.5: Piso 1 do Bloco A2

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A2.3.1	Laboratório Informática	59.7
A2.3.2	Laboratório Informática	59.5
A2.3.3	Laboratório Informática	38.9
A2.1.1	Sala Tic	59.6
A2.2.1	Oficina Informática	58.4
A2.2.2	Oficina Informática	59.2
A2.4	Estúdio Multimédia	38.4
A2.1.2	Sala Tic	54.3
A2.7.1	Espaço Apoio Informática	38.9
A2.7.2	Sala Apoio	18.6
A2.7.3	Sala Apoio 2	17.7
F8.1.9	Instalações Técnicas	15.8
F8.1.10	Instalações Técnicas	18.8
	Circulação	148.4
	Escadas 1	17.5
	Escadas 2	23

Serviço de Psicologia e Orientação, no primeiro piso. No segundo piso encontram-se a sala dos professores, a sala de trabalho dos professores, uma sala de reuniões e um auditório.

**Bloco A6:** é constituído pelo pavilhão, balneários, zonas técnicas da caldeira e quadro elétrico do AVAC, na tabela 7.11

**Bloco A7:** edifício destinado aos arrumos gerais da escola, tendo inclusive uma horta do lado exterior do edifício, representado na tabela 7.12

**Bloco A8:** piso subterrâneo, constituído pelo grupo de bombagem de incêndio e pela cisterna de água potável, representado na tabela 7.13

**Bloco A9:** edifício onde está localizado o PT.



Tabela 7.6: Piso 0 do Bloco A2

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A5.1	Oficina Eletrotecnia	76.3
A5.2	Oficina Telecomunicações	57.3
A5.3	Oficina Automação	79.3
A5.4	Oficina Instalações Elétricas	79.6
A5.5	Gabinete Professores	24
A5.6	Arquivo	39.7
A5.2.1	Micro Soldadura	12.4
A2.7.3	Instalações Técnicas Servidor	4.5
F8.1.7	Instalações Técnicas	14.6
F8.1.8	Instalações Técnicas	18.9
	Circulação	148.4
	Escadas 1	17.5
	Escadas 2	23
F6	Instalações Sanitárias	54
F6.3.1	I.S. Masculinas	13.8
F6.3.2	I,S,Femininas	13.8
F6.3.3	I.S.Deficientes	6.5

Tabela 7.7: Piso 2 do Bloco A3

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A1.1.28	Sala Musica	80.5
A1.1.29	Sala Aula	61.8
A1.1.30	Sala Aula	61.1
A1.1.31	Sala Aula	60.5
A1.1.32	Sala Aula	57.2
A1.1.33	Sala Aula	59.7
A1.1.34	Sala Aula	60
A1.1.35	Sala Aula	59.5
F8.1.17	Instalações Técnicas	17.1
F8.1.18	Instalações Técnicas	19.2
	Circulação	148.4
	Escadas 1	17.5
	Escadas 2	23

Tabela 7.8: Piso 1 do Bloco A3

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A1.1.20	Sala Musica	80.5
A1.1.21	Sala Aula	60.9
A1.1.22	Sala Aula	61.3
A1.1.23	Sala Aula	59
A1.1.24	Sala Aula	57.2
A1.1.25	Sala Aula	59.7
A1.1.26	Sala Aula	59.3
A1.1.27	Sala Aula	59.2
F8.1.15	Instalações Técnicas	17.1
F8.1.16	Instalações Técnicas	19.2
	Circulação	148.4
	Escadas 1	17.1
	Escadas 2	23

Tabela 7.9: Piso 0 do Bloco A3

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A4.1.1	Oficina Artes	102.2
A4.1.2	Oficina Artes	80.3
A4.2	Sala Geometria	80.5
A4.5	Educação Visual	81.2
A4.6	Educação Tecnológica	80.3
A4.7	Arrecadação	18.3
	Ante Câmara	4.2
F8.2.3	Instalações Técnicas Servidor	4.8
F8.1.13	Instalações Técnicas	17.1
F8.1.14	Instalações Técnicas	19.3
	Circulação	148.4
	Escadas 1	17.6
	Escadas 2	23
F6.1.3	Instalações Sanitárias	56.6
F6.1.1.3	I.S. Masculinas	14
F6.1.2.3	I,S,Femininas	14
F6.1.3.3	I.S.Deficientes	6.5

Tabela 7.10: Piso 0 do Bloco A4

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
A9.1.1	Oficina Mecânica	300
A9.1.2	Soldadura	25.4
A9.2	Forja	11.5
A9.2.1	Arrecadação	23.3
A9.3	Ferramentaria	11.5
A9.4	Sala Desenho	47.2
A9.5	Gabinete Professor	16.3
A9.6	Sala Aula	51
A9.7.1	Balneário Masculino	16.7
A9.7.2	Balneário Feminino	14.7
A9.1.3	Oficina Mecânica	52.6
A9.1.4	Oficina	38
A9.1.5	Oficina Energia Renovável	90
A1.2.3	Sala Pequenos Grupos	48
	Gabinete Planeamento	9.5
F8.1.9	Instalação Técnica Caldeira	17.2
F8.2.4	Instalação Técnica Servidor	5.4

Tabela 7.11: Piso 0 do Bloco A6

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
	Corredor 1	62.67
	I.S. Masculinas	11.10
	I.S. Femininas	11.10
	Chuveiros Masculinos	21.05
	Chuveiros Femininos	21.05
	Balneário 1	16.81
	Balneário 2	16.81
	Balneário 3	16.81
	Balneário 4	16.81
	Corredor Circulação 2	34
	Gabinete	13.1
	Gabinete 2	13.1

Tabela 7.12: Piso 0 do Bloco A7

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
F7.3	Arrecadação	59.2

Tabela 7.13: Piso 0 do Bloco A8

Local	Descrição	Área (metros quadrados)
F8		69.49



## Capítulo 8

# Caso de Estudo

Por uma questão de síntese apresenta-se apenas um resumo das técnicas de análise utilizadas e os valores obtidos. Para informação mais pormenorizada sobre os equipamentos de medida utilizados remete-se para o Anexo. No Anexo encontra-se a informação detalhada sobre os valores medidos ou estimados das características dos sistemas de iluminação atualmente instalados no edifício.

### 8.1 Análise da Fatura de Energia Elétrica

A análise da fatura da energia elétrica tem como principal objetivo verificar se a opção tarifária da empresa e respetivo comercializador de energia é o mais indicado, analisar a distribuição dos consumos por horas de cheias, vazio e pontas.

Esta escola é alimentada em Média Tensão. Atualmente a faturação da energia elétrica é feita pela EDP, segundo o contrato de Ciclo Semanal com Feriados. A escola tem como potência contratada o valor de 145,38kW, com a potência instalada a ser de 400kVA.

A parcela de energia tem uma estrutura de cálculo baseada na multiplicação do preço do kWh pelo consumo, desagregado por períodos tarifários – ponta, cheia, vazio e super-vazio.

Podemos observar na figura 8.1 os valores faturados na escola referentes ao período entre 1 de Maio de 2015 e 30 de abril de 2016, ou seja durante 12 meses.

Realizando uma observação pormenorizada da tabela da energia, observamos que os consumos da escola são elevados praticamente durante todo o ano, havendo uma redução considerável à medida que nos vamos aproximamos dos meses de Verão, mais propriamente nos meses de Agosto e Setembro. Esta situação de redução de consumo verifica-se em virtude de no período de verão, desde Agosto até 18 de setembro estarem englobadas as férias, levando a que o fluxo de utilização das instalações da escola seja reduzido em virtude da ausência de aulas.

Podemos observar que esta escola tem o maior consumo durante o período de cheia. É normal o seu consumo ser maioritariamente no período de cheia devido ao fato de no ciclo semanal, que é o tarifa de contrato desta escola, as horas tarifadas no período de cheia serem coincidentes com

Mês	Energia Ativa kWh			
	Super Vazio	Vazio	Cheia	Ponta
Mai-15	2.462	4.580	15.952	5.395
Jun-15	2.563	4.671	14.716	4.882
Jul-15	2.788	4.420	14.866	4.440
Ago-15	2.365	4.528	7.954	1.854
Set-15	2.456	3.983	13.039	4.040
Out-15	2.673	4.576	18.336	6.819
Nov-15	2.385	4.435	16.955	7.872
Dez-15	2.310	4.569	13.449	6.189
Jan-16	2.319	4.705	17.452	8.072
Fev-16	2.226	3.815	16.553	7.690
Mar-16	2.221	3.819	16.574	7.677
Abr-16	2.163	4.094	16.463	5.742
<b>Total</b>	<b>28.931</b>	<b>52.195</b>	<b>182.309</b>	<b>70.672</b>

Figura 8.1: Valores faturados entre Maio de 2015 e Abril de 2016

o horário de maior funcionamento da escola. Quanto aos horários de vazio e super-vazio, estes representam uma pequena percentagem dos consumos, como é possível verificar no gráfico 8.2. Estes valores são de equipamentos que nunca são desligados.

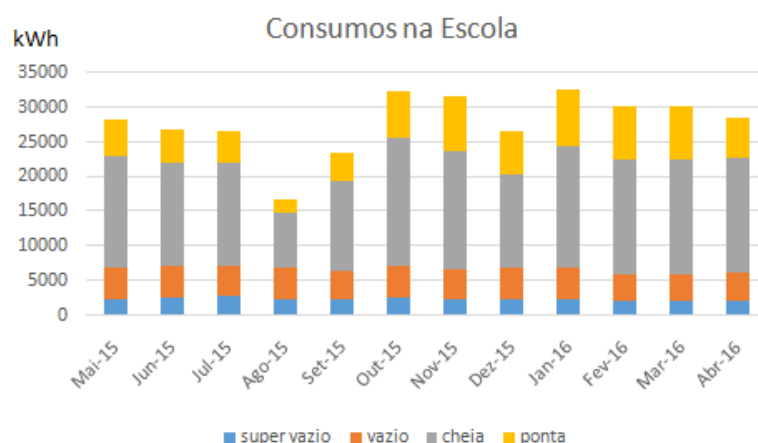


Figura 8.2: Gráfico dos valores faturados

O estudo das faturas passou por fazer uma comparação entre a tarifa atual utilizada na escola e as tarifas praticadas pelas outras diferentes empresas do mercado livre, de modo a averiguar se o contrato com a EDP - ciclo semanal é o mais vantajoso para a escola ou se seria possível reduzir os custos com o consumo de energia.

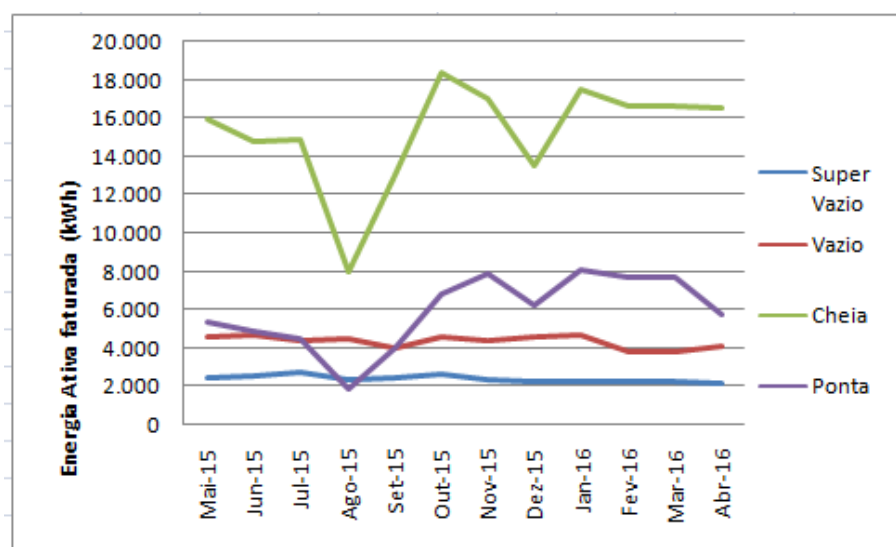


Figura 8.3: Decomposição da energia faturada por cada período tarifário

O valor total da energia foi calculado através da multiplicação do consumo anual obtido nas 12 faturas, mencionados em 8.1 com o preço de cada tipo de horário das diferentes empresas.

EDP															
Energia Ativa	Tarifa de Longas utilizações				Tarifa de Médias utilizações				Tarifa de Curtas utilizações						
	Valor Unitário	kwh	nº meses	Total	Valor Unitário (€)	KWh	nº meses	Total	Valor Unitário (€)	KWh	nº meses	Total			
Horas de Ponta	0,1397	70691,34	1	9.875,58 €	0,1487	70691,34	1	10.511,80 €	0,2135	70691,34	1	15.092,60 €			
Horas Cheias	0,1096	182294,29	1	19.979,45 €	0,1108	182294,29	1	20.198,21 €	0,1191	182294,29	1	21.711,25 €			
Horas de Vazio normal	0,0784	52196,31	1	4.092,19 €	0,0808	52196,31	1	4.217,46 €	0,0815	52196,31	1	4.254,00 €			
Horas de Super Vazio	0,072	28941,55	1	2.083,79 €	0,072	28941,55	1	2.083,79 €	0,0758	28941,55	1	2.193,77 €			
Potência	(€/mês)	(€/dia)	kw	nº meses	Total	(€/mês)	(€/dia)	kw	nº meses	Total	(€/mês)	(€/dia)	kw	nº meses	Total
Horas de Ponta	10,157	0,333	864,727	1	8.783,03 €	10,236	0,3356	864,727	1	8.851,35 €	15,03	0,4928	864,727	1	12.996,85 €
Contratada	1,552	0,0509	1947,66	1	3.022,77 €	1,461	0,0479	1947,66	1	2.845,53 €	0,624	0,0204	1947,66	1	1.215,34 €
Termo tarifário fixo	0,001		334123	1	334,12 €	0,001		334123	1	334,123	0,001		334123	1	334,12 €
Energia Reativa	0,0208		5749	1	119,5792	0,0208		5749	1	119,5792	0,0208		5749	1	119,58 €
Iva 23%					0,00 €					0,00 €					0,00 €
Total Fatura				48.290,52 €				49.161,84 €							57.917,51 €

Figura 8.4: Custo do consumo de energia da Escola pela EDP

Através da análise da figura 8.4, podemos verificar que o melhor caso na EDP seria o ciclo semanal com feriados das tarifas de longas durações, com um total de 48290,52 euros anuais.

A seguir foram analisadas mais 2 empresas, a Iberdrola e a Endesa, em que se obteve os seguintes valores 8.5. Observamos que em comparação com 8.1, os valores tanto da Endesa como da Iberdrola são bastante inferiores.

Energia Ativa	Endesa					Energia Ativa	Iberdrola				
	Valor Unitário	kWh	nº meses	Total			Valor Unitário	kWh	nº meses	Total	
Horas de Ponta	0,1044	70691,34	1	7.380,18 €		Horas de Ponta	0,0999	70691,34	1	7.062,06 €	
Horas Cheias	0,0926	182294,29	1	16.880,45 €		Horas Cheias	0,0930	182294,29	1	16.953,37 €	
Horas de Vazio normal	0,0684	52196,31	1	3.570,23 €		Horas de Vazio normal	0,0696	52196,31	1	3.632,86 €	
Horas de Super Vazio	0,0626	28941,55	1	1.811,74 €		Horas de Super Vazio	0,0638	28941,55	1	1.846,47 €	
Potência	(€/mês)	(€/dia)	kw	nº meses	Total	Potência	(€/mês)	(€/dia)	kw	nº meses	Total
Horas de Ponta	6,789	0,2263	864,727	1	5.870,63 €	Horas de Ponta	8,835	0,2945	864,727	1	7.639,86 €
Contratada	0,96	0,032	1947,66	1	1.869,75 €	Contratada	1,044	0,0348	1947,66	1	2.033,36 €
Termo tarifário fixo	0,001		334123	1	334,12 €	Termo tarifário fixo	0,001		334123	1	334,12 €
Energia Reativa	0,0208		5749	1	119,58 €	Energia Reativa	0,0208		5749	1	119,58 €
Iva 23%					0,00 €	Iva 23%					0,00 €
Total Fatura				37.836,68 €		Total Fatura				39.502,11 €	

Figura 8.5: Custo do consumo de energia da Escola pela empresa Endesa e pela Iberdrola

	EDP				
Energia Ativa					
	Valor Unitário		kwh	nº meses	Total
Horas de Ponta	0,1088		70691,34	1	7.691,22 €
Horas Cheias	0,1		182294,29	1	18.229,43 €
Horas de Vazio normal	0,0718		52196,31	1	3.747,70 €
Horas de Super Vazio	0,0705		28941,55	1	2.040,38 €
Potência	(€/mês)	(€/dia)	kw	nº meses	Total
Horas de Ponta	6,902	0,23	864,727	1	5.968,35 €
Contratada	0,977	0,0326	1947,66	1	1.902,86 €
Termo tarifário fixo	0,001		334123	1	334,12 €
Energia Reativa	0,0208		5749	1	119,58 €
Iva 23%	0,00 €				
Total Fatura	40.033,63 €				

Figura 8.6: Custo do consumo de energia com o contrato atual

Analisando as figuras do custo das diferentes empresas, é perceptível que o tarifário em vigor da escola não representa a melhor opção. Tanto a Iberdrola como a Endesa apresentam valores anuais inferiores ao contrato atual. Se no caso da Iberdrola o valor de redução é de apenas 2%, já na Endesa a redução é superior, na ordem dos 6%. Na tabela 8.7 é possível verificar a diferença em euros entre o contrato atual e as soluções propostas.

Empresa	Custo Anual	Diferença relativo ao atual
Contrato Atual	40.033,63 €	
Edp longas utilizações	48.290,52 €	8.256,89 €
Edp médias utilizações	49.161,84 €	9.128,21 €
Edp curtas utilizações	57.917,51 €	17.883,88 €
Iberdrola	39.502,11 €	-531,52 €
Endesa	37.836,68 €	-2.196,95 €

Figura 8.7: Comparação dos valores de custo anual das diferentes empresas

## 8.2 Sistemas de Iluminação

O objetivo deste estudo passa por reduzir o consumo da iluminação de modo a ser possível obter uma poupança energética, sem nunca descurar o valor mínimo estabelecido da norma para cada espaço. Na realização deste estudo de iluminação foram abordadas 3 opções:

- Redução da potência das lâmpadas;
- Substituição das lâmpadas existentes por luminárias LED;
- Estudo da possibilidade de instalação de sensores de presença de modo a reduzir o tempo que as lâmpadas estão ligadas desnecessariamente.



Em todos os espaços em que o valor referência foi alcançado, para decidir se o investimento é viável definiu-se uma regra:

- o tempo de retorno nunca poderá exceder os 6 anos;

Na análise e escolha das lâmpadas teve-se em consideração que estas têm de ter um valor de restituição de cor entre 80 a 100 e o valor da sua temperatura de cor é de 4000 graus kelvin.

Para ser possível caracterizar o sistema de iluminação que está presente no edifício foi preciso determinar diferentes parâmetros, assim como foi necessário fazer um levantamento do equipamento luminotécnico instalado no edifício. No seguimento deste capítulo descreve-se a metodologia utilizada, os valores que foram obtidos e os parâmetros estimados.

### 8.2.1 Inventário da Iluminação existente

Em cada espaço existente na escola foi efetuada a medição de cada área bem como a altura, tanto com o auxílio de um medidor de distâncias a laser como com a ajuda do programa AutoCad fazendo recurso às plantas do edifício. Realizei uma exaustiva investigação à iluminação existente em toda a escola, da qual segue em seguida um breve resumo.

Efetuuou-se o levantamento de todas as luminárias existentes na Escola Fontes Pereira de Melo. Podemos contabilizar que esta escola possui no total 1788 luminárias. Os principais edifícios utilizados nesta escola são os primeiros 4 blocos, que é onde decorrem as aulas. Em seguida fica uma breve descrição da constituição destes 4 blocos ao nível da iluminação.

### 8.2.2 Bloco A1

Seguidamente demonstra-se o levantamento de todo o tipo de lâmpadas instalado no bloco A1. É possível verificar através do gráfico 8.8 que existe uma maior predominância no tipo de lâmpadas fluorescentes T5 de 49W (204 lâmpadas). Existem ainda 65 lâmpadas do tipo T5 com 35W e por fim apenas 9 lâmpadas T5 de 80W.

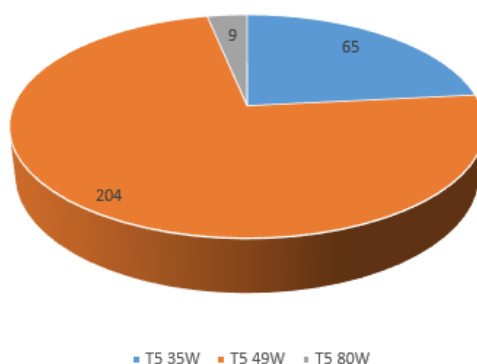


Figura 8.8: Lâmpadas instaladas no bloco A1

### 8.2.3 Bloco A2

Através do estudo luminotécnico efetuado para o bloco A2 foi possível constatar que a iluminação é bastante diferente do bloco A1. Enquanto que no bloco A1 iluminação é feita maioritariamente por lâmpadas T5 de 49W, neste bloco existe uma relativa igualdade em termos de lâmpadas. Este piso encontra-se equipado com 124 lâmpadas T5 de 49W, 87 lâmpadas T5 de 80W e 70 lâmpadas T5 de 35W. Essa divisão está representada no gráfico 8.9

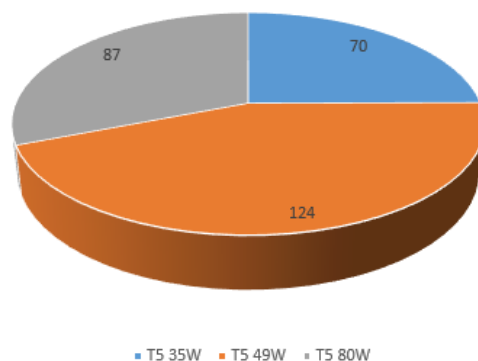


Figura 8.9: Lâmpadas instaladas no bloco A2

### 8.2.4 Bloco A3

À semelhança do que realizamos tanto no bloco A1 como no bloco A2, o primeiro procedimento foi realizar o levantamento do número e do tipo de lâmpadas existentes. Como podemos observar no gráfico 8.10 a iluminação neste bloco é realizada maioritariamente por lâmpadas T5 de 49W, perfazendo um valor de 74%. Este bloco conta com 289 lâmpadas instaladas, sendo 213 T5 de 49W, 67 T5 de 35W e para finalizar temos 8 T5 de 80W.

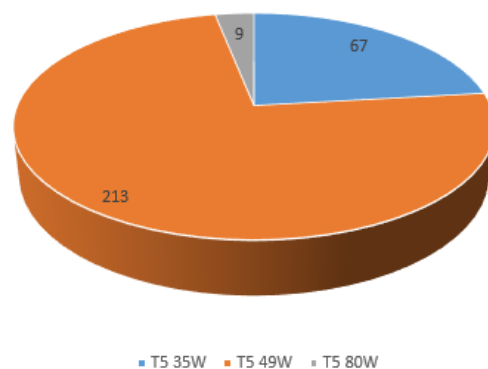


Figura 8.10: Lâmpadas instaladas no bloco A3

### 8.2.5 Bloco A4

Ao contrário dos blocos acima mencionados, este bloco é maioritariamente composto por lâmpadas T5 de 35W de potência, mais concretamente 90 luminárias, representando cerca de 70% da iluminação. Conta também com luminárias de T5 de 49W.

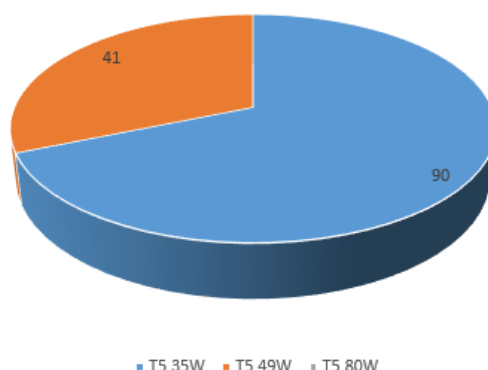


Figura 8.11: Lâmpadas instaladas no bloco A4

### 8.2.6 Avaliação da qualidade da iluminação atual

Com o objetivo de avaliarmos se a iluminação que está instalada na escola é adequada, recorreu-se a um software próprio para esse fim, chamado Dialux. Este software é um programa gratuito com o objetivo de auxiliar tanto os arquitetos como os engenheiros nos projetos de iluminação, tanto exterior como interior. Ele consegue realizar o cálculo dos níveis de iluminação máxima e mínima, da quantidade de luminárias necessárias para garantir a iluminância média requerida pela norma Europeia EN 12646-1:2002 ("Light and lighting – Lighting of work places– Part 1: Indoor work places") e por fim da uniformidade da iluminação.

No software Dialux os parâmetros mais influentes são a geometria do espaço (a sua área e a sua altura), a distribuição fotométrica das luminárias, a altura do plano de trabalho, o coeficiente de reflexão das superfícies e a altura da montagem da luminária. Outro dos parâmetros fundamentais é o cálculo da uniformidade da luz ( $E_{min}/E_{med}$ ), que é a relação entre a iluminância mínima e a iluminância média obtida no espaço em que é realizado o cálculo. Uma boa uniformidade na iluminação é necessária, pois evita as sombras acentuadas e assegura o conforto visual para a prática da atividade exercida. Este valor, por norma, não deve ser inferior ao valor de 0.33.

Para os espaços em que os valores da iluminância média registada são elevados em comparação com os valores de referência, foram realizados novos estudos com o objetivos de reduzir o consumo sem prejudicar o conforto dos utilizadores. Nos casos em que essa opção foi conseguida com sucesso, foi realizado um novo estudo económico que permitisse verificar se a solução proposta é viável ou não.

Para ser possível calcularmos a potência total consumida pelas lâmpadas num determinado espaço é necessário sabermos a potência das lâmpadas instaladas atualmente bem como o número de lâmpadas existentes. O calculo da potência total é dada pela seguinte expressão:

$$\text{PotenciaTotal(W)} = \text{NumeroLampadas} * \text{PotenciaLampada}$$

Sabendo o valor da potência das lâmpadas, o número de horas que se encontram acesas por dia e o número de dias que se encontram acesas por ano, é possível determinar o consumo anual para cada situação, através da expressão:

$$\text{ConsumoAnual (kWh)} = \text{PotenciaTotal} * \text{NumeroHorasDias} * \text{NumeroDiasAno}$$

O valor do número de dias por ano é diferente consoante o espaço a que está a ser feito o estudo. As salas de aula, laboratórios, salas de preparação, oficinas, balneários e chuveiros são consideradas que estão em funcionamento durante 87 dias no Inverno, e 78 dias no Verão. Quanto aos corredores, hall de entrada, bar, zonas técnicas considerou-se que estão em funcionamento durante 102 dias no inverno, e 150 dias no verão, só estando encerrado aos fins de semana e durante os feriados. A secretaria é um caso especial, pois além de se encontrar encerrada durante os fins de semana e feriados, também não funciona durante o mês de agosto, pelo que se considerou que o seu período de funcionamento é de 102 dias no Inverno e 128 dias no Verão.

Para podermos determinar o tempo de funcionamento da iluminação de cada espaço dos diferentes blocos, para o ano letivo de 2015/2016 recorreu-se a diferentes abordagens. Primeiramente obtivemos a ocupação das salas de aula, obtida através da consulta dos horários do ano letivo acima mencionado. Quanto aos gabinetes, secretarias, refeitório e bar foi determinado o seu perfil de utilização através da consulta dos utilizadores e funcionários que utilizam esses espaços diariamente. Para os espaços em que não foi possível recolhermos uma informação mais fidedigna, como por exemplo as áreas técnicas, fez-se uma estimativa levando em conta as sugestões de alguns dos seus utilizadores mais frequentes.

Para calcularmos o custo anual que cada espaço proporciona à escola, foi utilizada a seguinte expressão:

$$\text{CustoAnual (euros)} = \text{Preço} * \text{ConsumoAnual}$$

Como referenciado no capítulo 5, o período das tarifas é diferente consoante a época do ano (verão ou inverno). Em virtude disso, podemos dar como exemplo que um espaço ligado o mesmo numero de horas no verão e no inverno terá um custo diferente em cada um.

O investimento foi calculado multiplicando o preço unitário de cada lâmpada pelo número de lâmpadas necessárias para iluminar o espaço:

$$\text{Investimento (euros)} = \text{NumeroLampadas} * \text{PrecoCadaLampada}$$

Para calcular a poupança alcançada durante um ano, o custo anual atual é subtraído pelo custo anual da solução sugerida.

$$\text{PoupancaAnual (euros)} = \text{CustoAnualAtual} - \text{CustoAnualSolucao}$$

O tempo de retorno é calculado da seguinte forma:

$$\text{Retorno(Anos)} = \text{Investimento} / \text{PoupancaAnual}$$

O número de horas que as lâmpadas estão ligadas durante os dias úteis da semana (segunda a sexta) para cada tipo de espaço, pode ser consultada no anexo.

### 8.2.7 Condições para avaliação da qualidade da iluminação atual

O manual do Parque Escolar define um conjunto de condições necessárias para a avaliação da iluminação interior. Uma delas é o grau de reflexão, que se define como:

- Teto: 70%
- Paredes: 50%
- Solo: 20%

Outra parte importante são os valores de:

- Plano de Uso - a altura deve tomar o valor de 0,80 metros.
- Zona Marginal - 0,40 metros.

É possível observar um exemplo de uma sala desenhada no software dialux cumprindo as condições exigidas pelo manual do parque escolar.



Figura 8.12: Exemplo da visualização 3D no Dialux

### 8.2.8 Redução de Potência

Em virtude da existência de diversos espaços similares, e sendo o método de estudo idêntico, neste capítulo irão ser abordados "espaços tipo" na escola. Em anexo encontra-se a abordagem a todos os espaços realizados e a tabela excel contém as diversas características dos espaços, nomeadamente, o valor de iluminância necessária para a divisão e o valor medido com o luxímetro. O certificado de calibração deste equipamento encontra-se também em anexo.

#### Corredores de Circulação dos blocos A1 e A3

Os blocos A1 e A3 têm um desenho idêntico, pelo que estes corredores são iguais nos 2 blocos, e em todos os pisos deles. Em cada um existem 2 tipos de corredores.

Um deles tem 51,14 metros quadrados e é composto por 5 luminárias, todas do tipo B10, cada luminária tem uma lâmpada fluorescente T5 de 35 W. Após a realização do estudo obtivemos o valor de iluminância média de 190 lux, ou seja, está muito acima do valor de referência, que é de 100 lux. A distribuição da iluminação do corredor encontra-se representada na figura 8.13

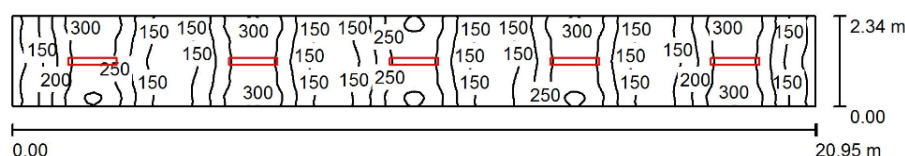


Figura 8.13: Distribuição da iluminação do corredor de circulação

Referente ao outro corredor, ele é mais pequeno, tendo 20,11 metros quadrados e sendo composto por 3 luminárias, sendo elas do mesmo tipo do corredor acima descrito. O nível médio de iluminação obtido no dialux foi de 252 lux. A distribuição da iluminação do corredor encontra-se representada na figura 8.14

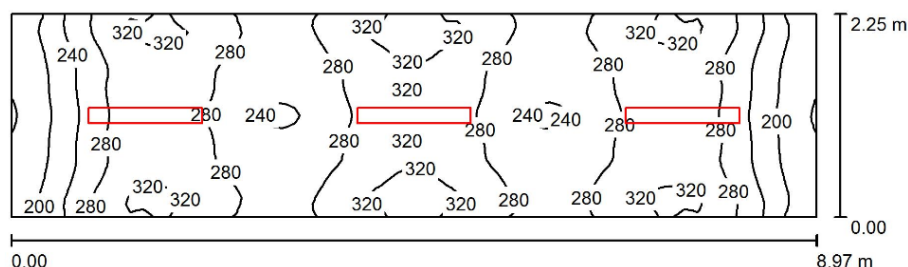


Figura 8.14: Distribuição da iluminação do corredor de circulação

Podemos verificar que a iluminação presente nestes corredores é excessiva como está acima demonstrado. No primeiro estudo realizado para tentarmos obter uma poupança energética decidiu-se trocar as lâmpadas existente por outras lâmpadas com as mesmas características mas com menor potência.

No caso do corredor que é composto por 5 luminárias, as lampadas escolhidas são da marca osram com 21 W de potência. Foi considerado que estas lâmpadas se encontram ligadas desde as 8h ate as 19h, perfazendo um total de 11h de utilização, na tabela 8.1 podemos verificar a diminuição da potencia e do consumo anual.

Tabela 8.1: Consumo Anual da solução atual e da nova solução

	Tipo Lâmpada	Em (lux)	Ptotal (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 35w	190	175	485.1
Solução Proposta	T5 21w	115	105	291.06

Tabela 8.2: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço unitário(Euros)	Investimento(Euros)	Custo Anual(Euros)	Poupança(Euros)	Retorno
Solução Atual			49,67		
Solução Proposta	6,50	32,5	29,80	19,87	1,6 anos

Após a análise da tabela 8.2 observamos que esta solução é viável, pois consegue-se uma melhoria da eficiência energética, com um tempo de retorno bastante reduzido.

Quanto ao corredor com 3 luminárias, após varios estudos concluiu-se que se pode reduzir a potencia das lâmpadas de 35W para 14W, como se pode verificar na tabela 8.3

Tabela 8.3: Consumo anual de um corredor

	Tipo Lampada	Em(Lux)	Ptotal (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 35w	252	105	291,06
Solução Proposta	T5 14w	102	42	116,42

Economicamente, esta nova solução é boa com um retorno do investimento em cerca de 1 ano. Esta é a melhor solução que se encontrou e é viável, como se pode verificar na tabela 8.4

Tabela 8.4: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço unit.(Euros)	Investimento(Euros)	Custo Anual(Euros)	Poupança(Euros)	Retorno
Solução Atual			29,8		
Solução Proposta	6,1	18,3	11,92	17,88	1,02 anos

No conjunto dos blocos A1 e A3 existem 12 corredores de cada tipo acima mencionado. Pelo que adotando as soluções apresentadas consegue-se obter uma redução total de 453 euros anuais.

### Corredores de Circulação do bloco A2

Os corredores de circulação no bloco A2 são idênticos aos corredores mencionados no bloco A1 e A3, a única diferença é que estes corredores encontram-se iluminados entre as 8h da manhã até sensivelmente as 24h, perfazendo um total de 16h, o que origina a que o seu custo anual seja superior. As lâmpadas propostas são as mesmas propostas nos corredores A1 e A3, e nas tabelas 8.5 8.6 podemos verificar os resultados obtidos:

Tabela 8.5: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço Unit.(E)	Investimento(E)	Custo Anual(E)	Consumo Anual (kWh)	Poupança(E)	Retorno
Solução Atual			72,04	705,6		
Solução Proposta	6,5	32,5	43,22	423,36	28,82	1,13 anos

Tabela 8.6: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço Unit.(E)	Investimento(E)	Custo Anual(E)	Consumo Anual (kWh)	Poupança(E)	Retorno
Solução Atual			43,22	423,36		
Solução Proposta	6,1	18,3	17,29	169,34	25,93	0,71 anos

Como podemos observar estas alterações trazem grandes benefícios em termos de redução de potência e o tempo de retorno do investimento é ótimo, sendo no máximo de 1 ano e 2 meses. Ao todo temos 3 corredores de cada tipo neste bloco A2, o que traria uma poupança anual na fatura no valor de 328,48 euros caso estas soluções passem a ser utilizadas.

### Sala de Aula de 9 Luminárias

Esta sala de aula encontra-se iluminada por 9 luminárias do tipo B5, cada uma delas composta por uma lâmpada fluorescente T5 de 49W. Após a realização do estudo da iluminância média através do software Dialux obtivemos o valor de 529 lux. O valor da iluminância máxima registada foi de 757 lux e a mínima foi de 271 lux. Foi considerado que esta lâmpada esta ligada durante 9h por dias, no intervalo das 8h ate as 17h.

A figura 8.15 permite-nos observar como é que a iluminação se distribui pela sala de aula.

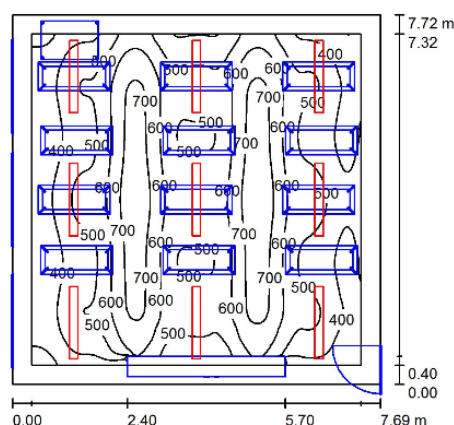


Figura 8.15: Distribuição da iluminação na Sala de Aula

Como o valor de referência para o nível de iluminação para uma sala de aula com utilização noturna é de 500 lux, verifica-se que o valor obtido encontra-se dentro da norma, pelo que não é possível fazer nenhuma alteração.

### Sala de Bufete

Este espaço é constituído por 16 luminárias T5, de 80W. Através do dialux obtivemos um valor de iluminância média de 541 lux, enquanto que o valor de referência para este espaço é de apenas 200 lux, ou seja, o valor está muito elevado em relação à norma definida. Em baixo podemos ver a distribuição nesta sala 8.16

Além de existir um claro exagero na potência utilizada nestas lâmpadas, comprovado pelo valor bem superior ao da norma, esta sala de bufete tem uma particularidade em relação ao numero de horas que está iluminada. Este espaço é constituído por um bar, que tem um horário de funcionamento das 8h até as 17h horas. Mas ele não deixa de ser iluminado as 17h, na hora do fecho do bar, ele continua iluminado ate as 24h por uma questão de segurança, pelo que as lâmpadas



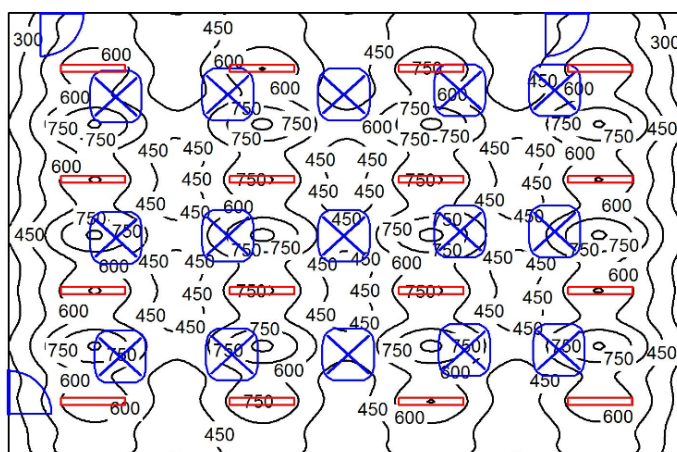


Figura 8.16: Distribuição da iluminação na Sala de bufete

estão em funcionamento durante 16h diariamente. Na figura 8.17 podemos ver a distribuição da iluminância no bufete após a redução de potência proposta.

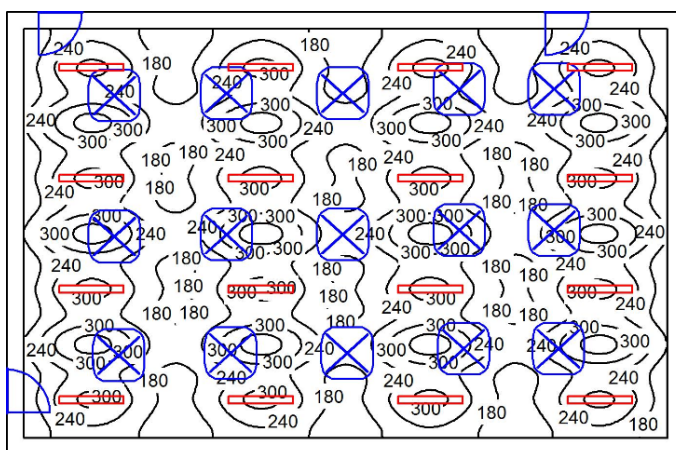


Figura 8.17: Distribuição da iluminação na Sala de bufete com redução de potência

Tabela 8.7: Análise da viabilidade económica da solução proposta para o bufete

	Tipo	Preço(E)	Investimento(E)	Pot Total(W)	Cons. Anual	Custo Anual(E)	Poupança(E)	Retorno
Atual	T5 80w			1280	5160,96	526,91		
Proposto	T5 28w	6,7	107,2	448	1806,33	184,42	342,49	0,32 anos

Através da solução proposta o novo valor de iluminância média é de 238lux. Como se pode observar na tabela 8.7 a solução proposta têm um retorno muito rápido, cerca de apenas 4 meses. A redução anual é no valor de 342 euros anuais. Pelo que analisando estes dados, é possível afirmar que esta solução é altamente viável.

## Refeitório

O refeitório encontra-se iluminado por intermédio de 15 luminárias, sendo que existem 2 tipos de luminárias. É composto maioritariamente por lâmpadas de 49W de potência mas também existe 3 lâmpadas de 80W. A iluminância média registada após a realização do estudo no software Dialux foi de 373 lux enquanto que o valor de referência é de 200 lux, pelo que podemos observar que o valor está acima do valor de referência. Outra das particularidades é que as luminárias estão instaladas a 5,6 metros de altura, ao contrário dos outros espaços que se encontram a 2,8 metros. A distribuição da iluminação da sala encontra-se representada na figura 8.18

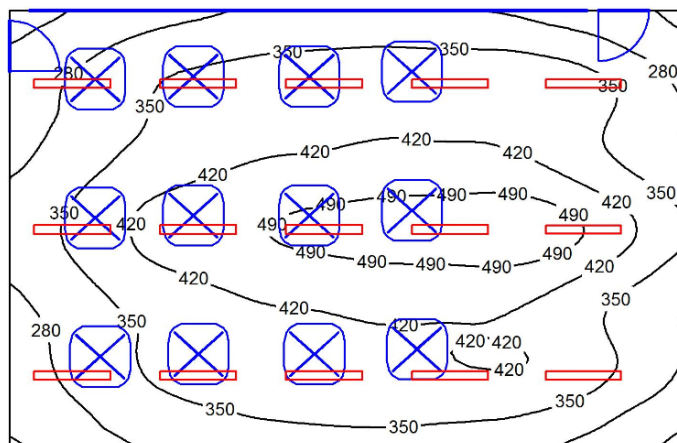


Figura 8.18: Distribuição da iluminação do refeitório

A sala do refeitório só tem utilização entre as 12h e as 16h, mas tal como a sala do bufete, este espaço não está apenas iluminado durante 4h, mas sim durante 16h por uma questão de segurança. Realizou-se um novo estudo de modo a verificar a possibilidade de aumentar a eficiência energética. Na imagem 8.19 podemos observar a nova distribuição de iluminância obtida na sala após a realização do estudo.

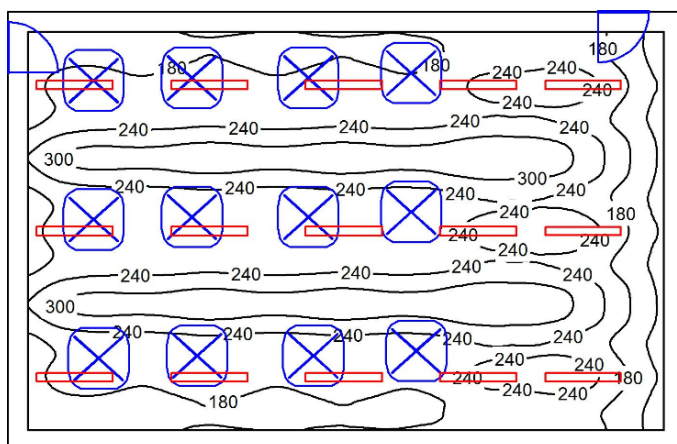


Figura 8.19: Distribuição da iluminação do refeitório após a realização do estudo de redução de potência

Os resultados obtidos para o estudo económico encontram-se ilustrados na tabela 8.8.

Tabela 8.8: Análise da viabilidade económica da solução proposta para o refeitório

	Tipo	Preço(E)	Invest.(E)	Pot Total(W)	Cons. Anual(kWh)	Custo Anual(E)	Poupança(E)	Retorno
Atual	T5 3x80w+12x49			828	3338,49	340,84		
Proposto	T5 28w	6,7	100,5	420	1693,44	172,89	167,95	0,60 anos

O novo valor de iluminância média é de 223 lux, ou seja está dentro do valor aceite pela norma para este tipo de espaços. Como podemos observar, além de se obter uma boa economia anual, o tempo de retorno é excelente, sendo inferior a 8 meses, pelo que esta solução é extremamente viável.

### Instalações Técnicas Avac

Este espaço encontra-se equipado com 2 armaduras, cada uma com uma lâmpada T5 do tipo A7, com potência de 35W. A norma define que a iluminação média deste espaço seja de 100 lux. Após o estudo no Dialux pudemos verificar que a iluminância média é de 168 lux, sendo o valor de 241 referente a iluminância máxima e o valor de 92 a mínima. A distribuição da iluminação do presente espaço encontra-se representada na figura 8.20.

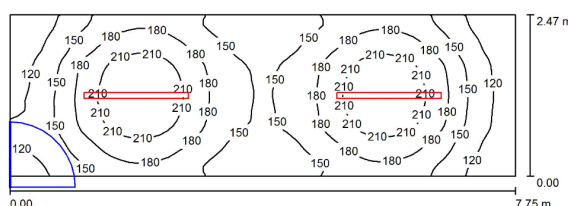


Figura 8.20: Distribuição da iluminação nas Instalações Técnicas Avac

Considerou-se que as lâmpadas funcionam diariamente durante 2 horas. Chegou-se a esta conclusão fazendo uma média, pois há dias em que elas estão ligadas durante 30 minutos e noutras alturas funcionam durante 6 horas em caso de alguma avaria ou necessidade de utilização do espaço. Como se pode verificar o nível de iluminância está acima do valor de referência, pelo que se efetuou um novo estudo de modo a se verificar uma possível melhoria. Obteve-se um novo valor de iluminância média de 96 lux. A melhor solução está apresentada na tabela 8.9

Tabela 8.9: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Tipo	Preço(E)	Invest.(E)	Pot Total(W)	Cons. Anual(kWh)	Custo Anual(E)	Poupança(E)	Retorno
Atual	T5 35w			70	35,28	3,53		
Proposto	T5 24w	6,1	12,2	45	22,68	2,27	1,26	9,7 anos

Como podemos observar o tempo de retorno é elevado, ligeiramente inferior a 10 anos, por isso considera-se que esta solução não é viável.

### Sala de Informática

Esta sala é composta por 9 luminárias do tipo B4 cada uma delas composta por uma lâmpada fluorescente T5 de 80 W. Através da análise do dialux obtivemos um valor de 803 lux de iluminação média, atingindo um valor de 1116lux de iluminação máxima, e de 426 de iluminação mínima. O valor de referência para uma sala de informática é de 500 lux.

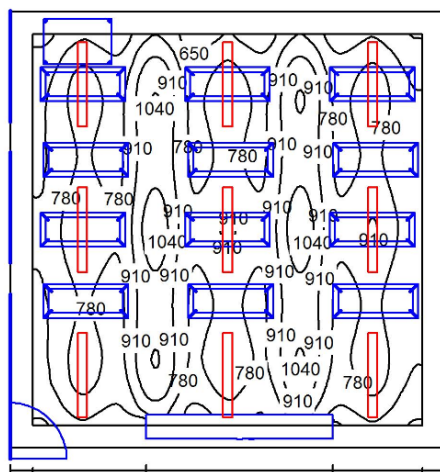


Figura 8.21: Distribuição da iluminação na Sala de Informática

Esta é uma das salas que têm aulas no regime noturno, funcionando desde as 8h até próximo das 24h. Como podemos reparar, o valor de iluminação desta sala está muito acima do valor definido pela norma. Através da redução da potência das lâmpadas instaladas, obtivemos o seguinte resultado apresentado na tabela 8.10

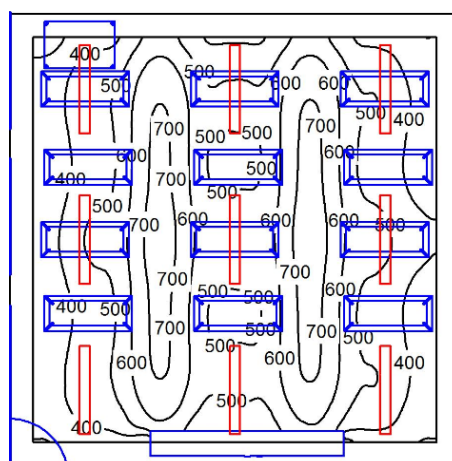


Figura 8.22: Distribuição da iluminação na Sala de Informática após as soluções propostas

Obteve-se após a aplicação desta solução o valor de 520 lux. Como podemos observar, esta solução é extremamente viável pois o seu tempo de retorno é muito reduzido, cerca de 9 meses obtendo uma poupança anual de 75,31 euros, ou seja, uma redução de 38%. Podemos observar

Tabela 8.10: Análise da viabilidade económica da solução proposta da sala informática

	Tipo	Preço(E)	Invest.(E)	Pot Total(W)	Cons. Anual(kWh)	Custo Anual(E)	Poupança(E)	Retorno
Atual	T5 80w			720	1900,8	194,32		
Proposto	T5 49w	6,6	59,4	441	1164,24	119,01	75,31	0,79 anos

na figura 8.22 a nova distribuição da iluminação após a redução de potência para lâmpadas de 49W.

### Estúdios Multimédia

O estúdio de multimédia tem 39 metros quadrados. Este espaço encontra-se equipado com seis luminárias do tipo B4, da marca ETAP em que cada uma é composta por uma lâmpada T5 de 80 W. O valor obtido de iluminância média para este tipo de espaço é de 778 lux. . A imagem ilustrada da figura 8.23 representa a distribuição da iluminação para a solução atual.

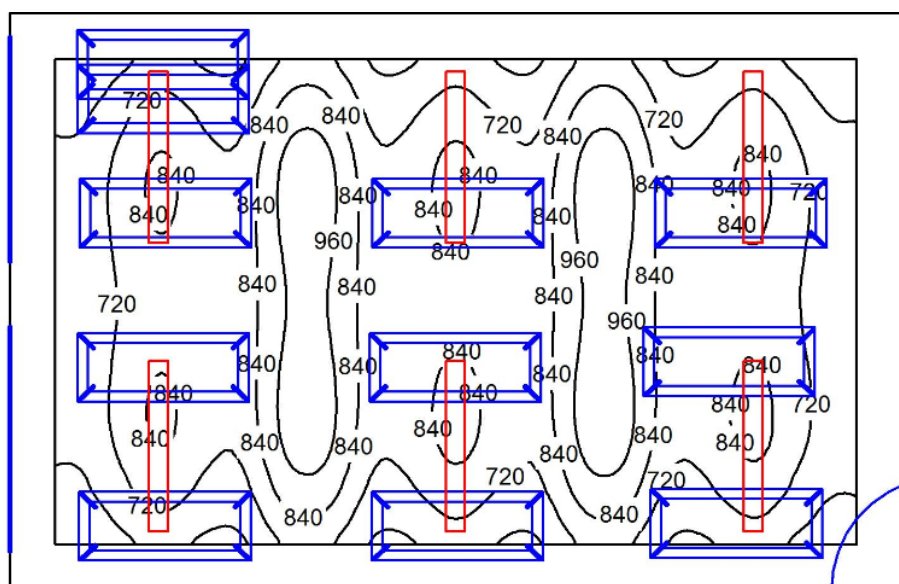


Figura 8.23: Distribuição da iluminação do estúdio multimédia

Por consulta do manual para obter o valor de referência para este tipo de espaços pode-se observar que o valor é de 300 lux. Verifica-se que neste espaço existe uma enorme despesa desnecessária devido ao facto de a iluminação ser muito superior ao necessário. Foi possível reduzir drasticamente a potência das lâmpadas instaladas, e aconselha-se a substituição por lâmpadas com potência de 28w. Na tabela 8.11 pode-se verificar a solução obtida. O novo valor de iluminancia apos esta solução é de 329 lux e as curvas de distribuição de iluminância estão demonstradas na figura 8.24

Tabela 8.11: Análise da viabilidade económica da solução proposta para o estúdio multimédia

	Tipo	Preço(E).	Invest.(E)	Pot Total(W)	Cons. Anual(kWh)	Custo Anual(E)	Poupança(E)	Retorno
Atual	T5 80w			480	712,8	73,19		
Proposto	T5 28w	6,7	40,2	168	249,48	25,61	47,58	0,85 anos

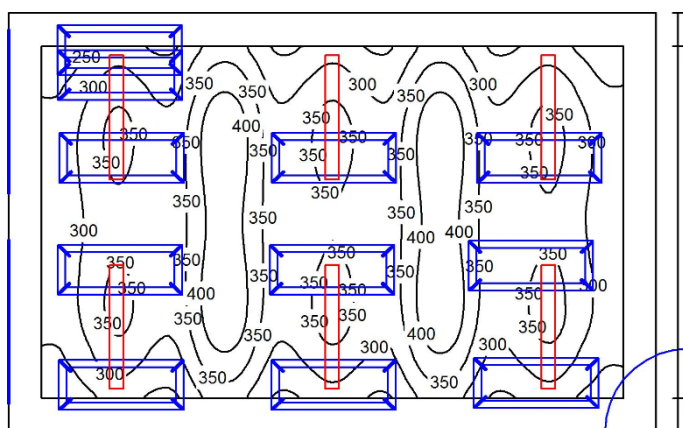


Figura 8.24: Distribuição da iluminação do estúdio multimédia após a realização da redução de potência

### Secretaria

Neste caso, o espaço é constituído por 20 luminárias do tipo B1, ou seja são lâmpadas T5 de 49W. A iluminância média de referência para este tipo de salas é de 500 lux, e o estudo no Dialux refere que a sala tem 817 de iluminância média. A distribuição da iluminação da sala encontra-se representada na figura 8.25

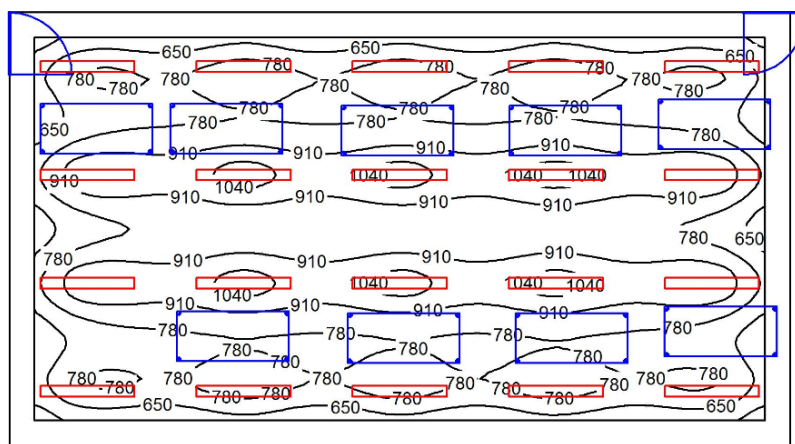


Figura 8.25: Distribuição da iluminação na secretaria

A secretaria é um dos casos especiais da escola. Considerou-se que a secretaria encontra-se iluminada entre as 9h da manhã ate as 18h, que é o seu horário de funcionamento, e durante 230 dias, pois além de estar encerrada durante os fins de semana e feriados, também se encontrada encerrada durante o mes de agosto.

Neste espaço foi possível reduzir a potência, tendo-se sugerido a redução de potência de cada lâmpada de 49w para 28w, obtendo um novo valor de 518 lux. Na figura 8.26 podemos observar as novas curvas de distribuição da iluminação após a redução da potência.

Na tabela 8.12 podemos observar os resultados.



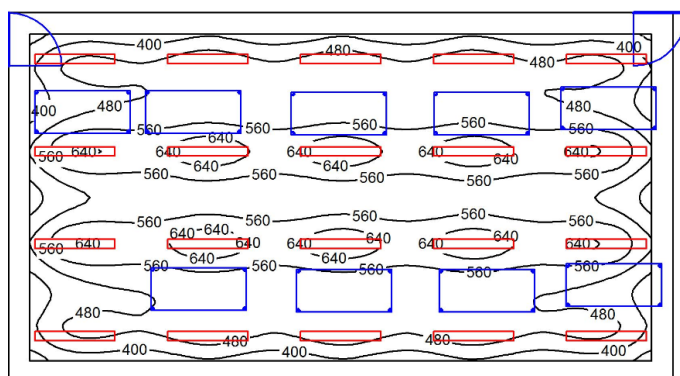


Figura 8.26: Distribuição da iluminação na secretaria após a redução de potência

Tabela 8.12: Análise da viabilidade econômica da solução proposta para a secretaria

	Tipo	Preço(E)	Invest.(E)	Pot Total(W)	Cons. Anual(kWh)	Custo Anual(E)	Poupança(E)	Retorno
Atual	T5 49w			980	2028,6	253,90		
Proposto	T5 28w	6,7	134	560	1159,2	145,08	108,82	1,23 anos

### Posto de Trabalho

O posto de trabalho encontra-se iluminada por intermédio de 54 luminárias, sendo que têm 2 tipos de luminárias. É composto por 40 lâmpadas de 49 W de potência mas também tem 14 lâmpadas de 80 W. A iluminância média registrada após a realização do estudo no software Dialux foi de 841 lux enquanto que o valor de referência para este tipo de espaço é de 500 lux, pelo que podemos observar que comparativamente ao valor de referencia este esta bastante elevado. Foi considerado que este espaço encontra-se iluminado durante 9h diárias. A distribuição da iluminação da sala encontra-se representada na figura 8.27

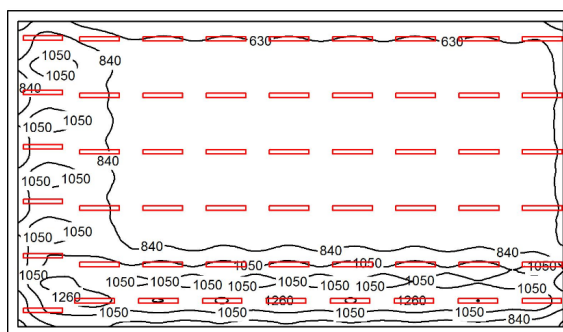


Figura 8.27: Distribuição da iluminação do posto de trabalho

Realizou-se um novo estudo de modo a verificar a possibilidade de aumentar a eficiência energética. Determinou-se que neste espaço a potência das lâmpadas podem ser reduzidas para 35W.

O novo valor obtido de iluminância média foi de 487 lux. Os resultados obtidos para o estudo económico encontram-se ilustrados na tabela 8.13.

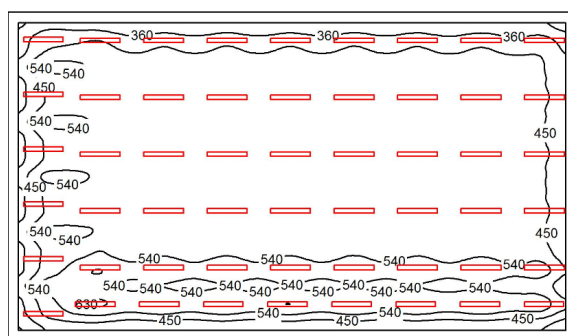


Figura 8.28: Distribuição da iluminação do posto de trabalho após a realização da redução de potência

Tabela 8.13: Análise da viabilidade económica da solução proposta para o posto de trabalho

	Tipo	Preço(E)	Invest.(E)	Pot Total(W)	Cons. Anual(kWh)	Custo Anual(E)	Poupança(E)	Retorno
Atual				3080	4573.8	469.62		
Proposto	T5 35W	7.2	388.8	1890	2806.65	288.17	181.45	2.15 anos

Como podemos observar, é esperado que ao fim do segundo mês do segundo ano seja possível recuperar todo o investimento. Como o tempo de retorno é reduzido, esta solução é considerada viável.

### Balneário

Existe um total de 4 balneários, 2 femininos e 2 masculinos. Cada um destes espaços tem uma área de 16,81 metros quadrados, e é composto por 3 luminárias do tipo A7, ou seja T5 de 35W. Analisando o valor de referência, observamos que o valor é de 200 lux, e através do programa Dialux obtivemos um valor de iluminação média para este espaço de 281 lux. Apesar do valor de iluminância se encontrar superior ao valor de referência, não foi possível fazer uma redução pelo facto do custo anual neste espaço ser residual. Este espaço neste momento não é utilizado diretamente pela escola, para uso dos seus alunos, mas é alugado para as pessoas que usem o ginásio. É usado apenas as terças e quintas feiras, durante 2h por dia, o que perfaz que o seu custo anual seja de apenas 1,74 euros.

### Bloco A7, A8 e A9

O Bloco A7, A8 e A9 são compostos por lâmpadas do tipo A7, T5 de 35W. Cada bloco está equipado com 6 lâmpadas. O nível de iluminância média obtida no bloco A7 foi de 234, sendo que na norma o valor é de 100.

Referente ao bloco A8, o valor de referência é o mesmo do bloco acima referido, e foi obtido o valor de 207 lux através do estudo no Dialux.

Como os blocos A7, A8 e A9 são utilizados de forma esporádica, sendo a iluminação utilizada em média durante apenas 60 minutos por dia, o custo anual de cada bloco é de apenas 5.29 euros, verificou-se que o estudo não se torna viável pois o retorno em anos iria ser muito elevado.



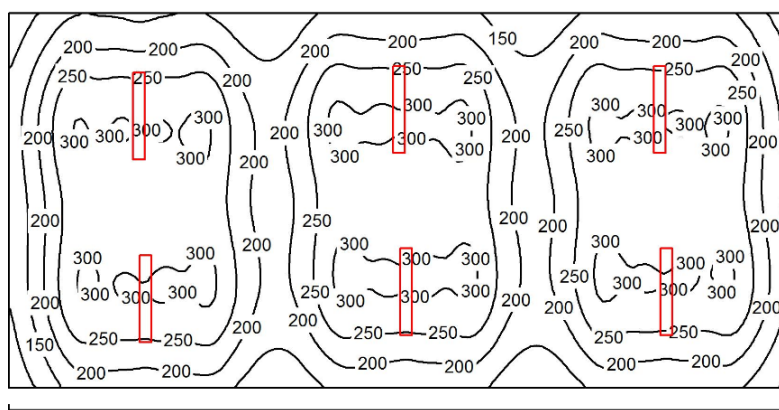


Figura 8.29: Distribuição da iluminação no bloco A7

### 8.2.9 Poupança anual obtida

Este estudo foi realizado em 201 espaços e constatou-se que em 75 espaços não foi necessário realizar nenhuma alteração no sistema de iluminação, pois o seu valor de iluminância média não excedia uma janela de 20% em relação ao valor de referência. Nos restantes 126 espaços constatou-se que o nível de iluminação é superior ao valor de referência e foi possível diminuir o consumo em 109 deles sem que o nível médio de iluminação ficasse irregular. Nestes casos, foram propostas lâmpadas fluorescentes de alta eficiência (A+), sempre com atenção de terem o mesmo tamanho das luminárias já existentes. Na figura 8.30 encontra-se representado os benefícios alcançados ao nível do custo anual dos espaços considerados neste estudo.

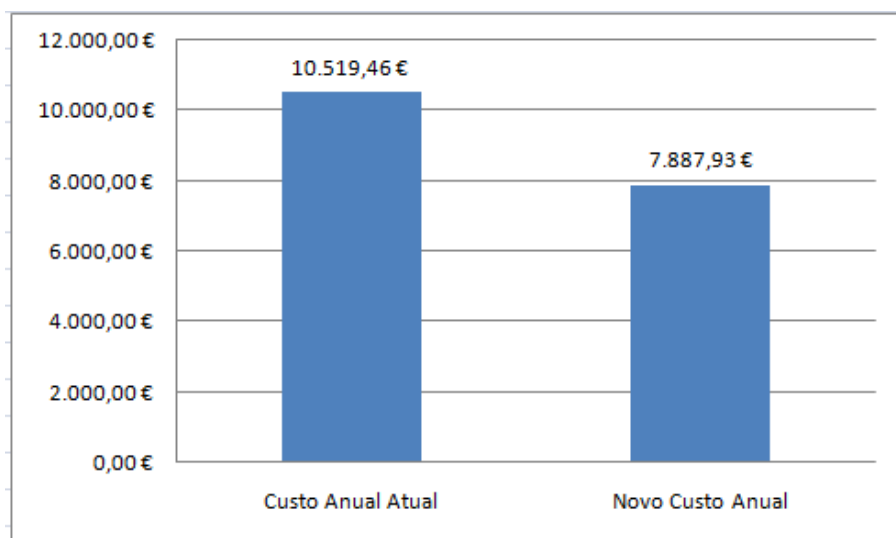


Figura 8.30: Comparação dos custos anuais atual e proposto dos espaços estudados

Como podemos observar existe uma redução considerável no custo anual de iluminação nos espaços estudados, sendo essa redução de 25%, no valor de 2631,53 euros anuais, com um inves-

timento efetuado de 3782,5 euros, conclui-se que o retorno será alcançado ao final de 1 ano e 5 meses o que pode considerar-se como sendo um excelente retorno.

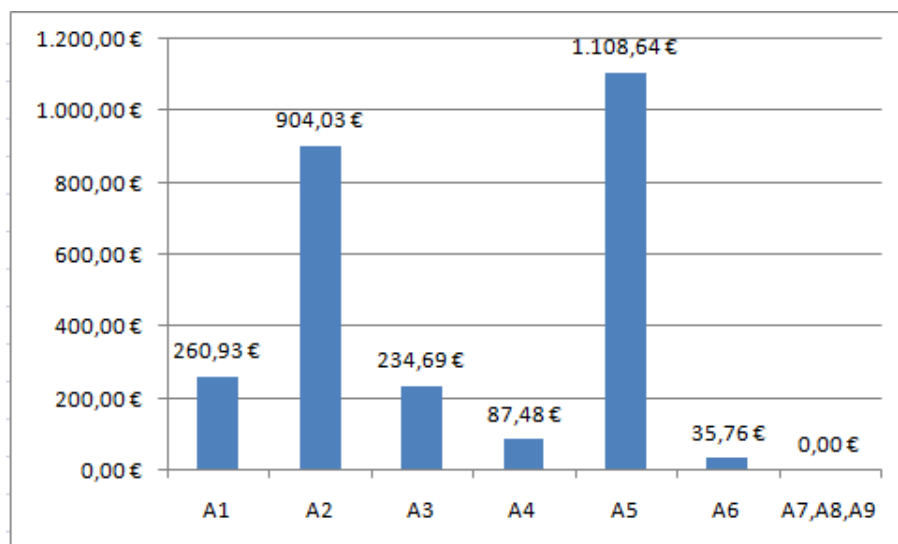


Figura 8.31: Poupança obtida em cada bloco da escola durante 1 ano

Este estudo de iluminação foi dividido pelos blocos existentes de modo a ser mais fácil analisar em que parte da escola é que existe uma menor eficiência energética e em que bloco é possível obter as maiores poupanças. Na imagem 8.31 podemos observar que a maior poupança foi obtida no bloco A2 e no bloco A4.

#### 8.2.10 Estudo com tarifa Endesa

Com base no estudo realizado no capítulo 8.1 em que se verificou que o tarifário da Endesa é o melhor para este edifício, realizou-se um estudo de modo a comparar as vantagens que este tarifário proporciona no capítulo da iluminação. Para isso foi realizado o novo custo anual de cada espaço tendo em conta o novo valor das tarifas.

Analisando o gráfico representado em 8.32 podemos concluir que apenas realizando a troca de empresa de fornecimento de energia o valor do custo anual destinado à iluminação reduziu em comparação com a da empresa Edp em 759,43 euros. Caso a escola opte pelo fornecimento de energia da Endesa, após o estudo luminotécnico realizado podemos verificar que caso a escola opte pelas soluções propostas é possível obter uma redução de 2258,88 euros.

Podemos observar na figura 8.33 que a alteração para o tarifário da Endesa é o mais adequado pois proporciona uma poupança ainda mais elevada das soluções propostas de redução de potência. Com este tarifário a poupança cifra-se no valor de 3018,31 euros em comparação com o estado atual de iluminação presente na escola.

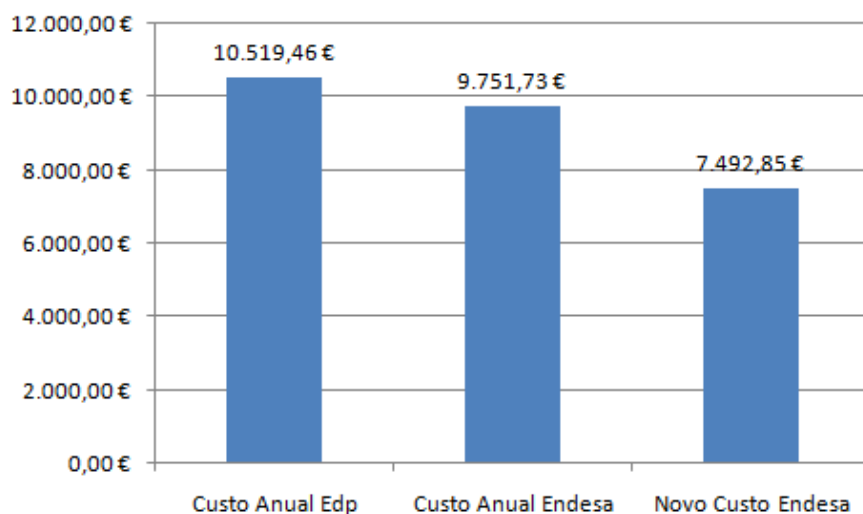


Figura 8.32: Comparação de preços finais da iluminação na Escola

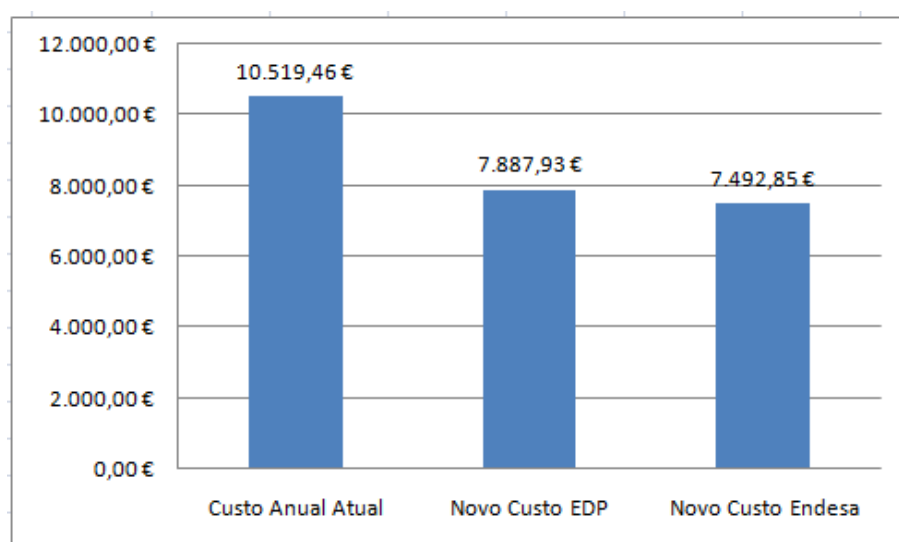


Figura 8.33: Comparação de preços finais

### 8.2.11 Estudo das Soluções LED

Após o estudo da redução de potência das lâmpadas existentes na escola, foi feito um novo estudo que consistiu na colocação de lâmpadas LED. Uma das grandes vantagens deste tipo de lâmpadas é o facto de apresentarem um período de vida útil muito superior em comparação com outro tipo de lâmpadas, são produzidas para durar cerca de 50000 horas. Outra das vantagens é na vertente económica, pois através dos LEDS consegue-se a mesma corrente luminosa com potência inferior a qualquer outro tipo de lâmpada.

### Sala de Tic

Esta sala é composta por 9 luminárias com lâmpadas fluorescentes T5 de 80W e apresenta atualmente um nível de iluminância médio de 787 lux, enquanto que o valor de referência para este tipo de salas é de apenas 300, pelo que esta exageradamente acima. A solução LED apresentada é da marca Osram e perfaz um conjunto entre a luminária e lampada de 30W, emitindo uma corrente luminosa de 2800 lúmens. A imagem ilustrada da figura 8.34 representa a distribuição da iluminação para a sala de Tic usando LEDS.

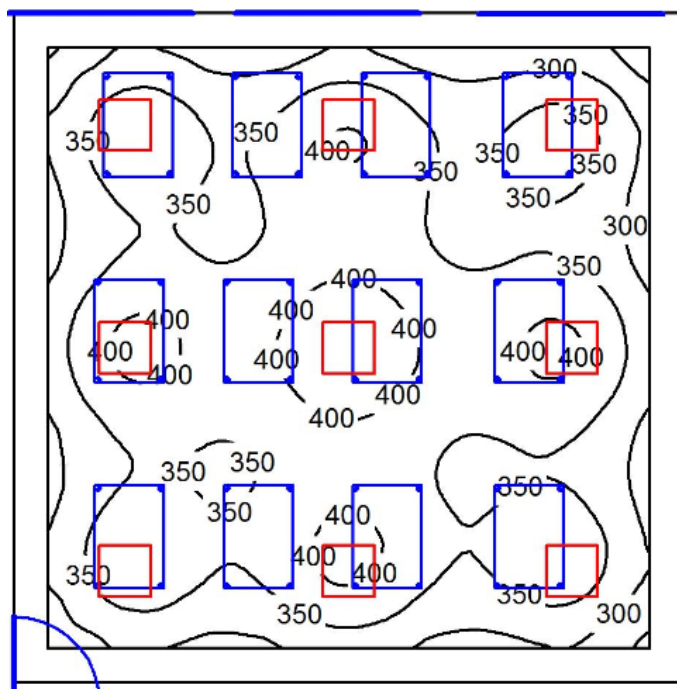


Figura 8.34: Distribuição da iluminância utilizando LEDS

Através desta solução, o nível apresentado de iluminância média reduziu consideravelmente, sendo neste caso de 354 lux. A uniformidade também subiu para o valor de 0.63. Podemos verificar que esta opção além de reduzir a potência total mantendo o valor de iluminância acima do valor de referência, aumenta também a uniformidade no espaço. Foram instalados 9 Leds.

Na tabela 8.14 é possível verificar a poupança obtida e o tempo de retorno do investimento.

Tabela 8.14: Análise da viabilidade económica da solução proposta para a sala de tic

	Tipo	Preço Unit.	Investimento	Pot Total	Cons. Anual	Custo Anual	Poupança	Retorno
Atual	T5 80w			720	1069,2	109,78		
Proposto	Led 30W	89,3	803,7	270	400,95	41,17	68,61	11,71 anos
Proposta2	T5 28w	6,7	60,3	252	374,22	38,42	71,36	0,85 anos

Como podemos observar, nesta sala com a instalação de luminárias LED conseguimos obter uma poupança anual de 68,61 euros. Mas porém esta solução esbarra no seu tempo de retorno

demasiado longo para se tornar viável, visto que só se obteria retorno financeiro no início do decimo segundo ano. Ao fim de um prazo assim extenso provavelmente estes equipamentos já não se encontrariam instalados. Além disso, foi possível obter uma solução com um prazo de retorno muito menor através de redução de potência, e que apesar do valor de iluminância ser inferior aos dos LEDS, continua dentro do valor definido pela norma, pelo que esta proposta de solução usando LEDS não se torna viável.

### Sala de Informática

Esta sala já foi abordada no capítulo de redução de potência das lâmpadas, pelo que vamos abordar a instalação de Leds de modo a analisar se é possível reduzir ainda mais o seu custo anual.

O valor de referência é de 500 lux. A solução LED apresentada um valor de 50w entre a luminária e a lâmpada, emitindo uma corrente luminosa no valor de 4200 lumens.

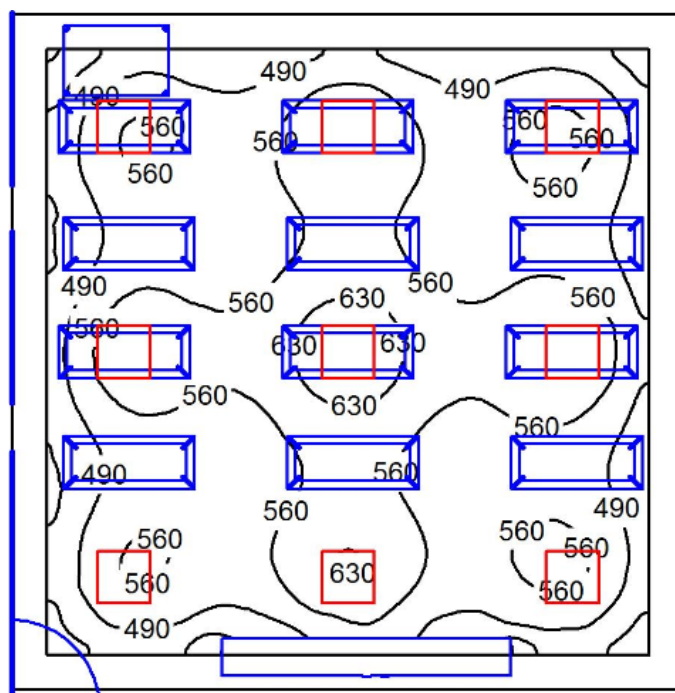


Figura 8.35: Distribuição da iluminância utilizando LEDS

Foram instalados 9 Leds e através deste tipo de Led proposto foi possível obter um valor de iluminância média de 538 lux com uma uniformidade de 0,64. Foi considerado que os Leds estão ligados durante 16h por dia, tal como explicado anteriormente.

Tabela 8.15: Análise da viabilidade económica da solução proposta para a sala informática

	Tipo	Preço Unit.	Investimento	Pot Total	Cons. Anual	Custo Anual	Poupança	Retorno
Atual	T5 80w			720	1900,8	194,32		
Proposto	Led 50W	112	1008	450	1188	121,45	72,87	13,84 anos

Tabela 8.16: Análise da viabilidade económica da solução proposta para uma sala

	Tipo	Preço Unit.	Investimento	Pot Total	Cons. Anual	Custo Anual	Poupança	Retorno
Atual	T5 80w			720	1069,2	109,78		
Proposto	Led 50W	112	1008	450	668,25	68,61	41,17	24,48 anos

Analisando a tabela 8.15 apercebemos que apesar de ser possível reduzir o custo anual, o seu tempo de retorno é bastante elevado originando que só se obteria retorno financeiro no décimo quarto ano.

### Sala de Aula 9 Luminárias

Esta sala é constituída por 9 luminárias, cada uma com uma lâmpada de potência de 80w. Pelo manual podemos observar que o valor de referência para uma sala de aula é de 500 lux. Atualmente esta sala de aula apresenta o valor de 803 lux. Considerou-se que as lâmpadas estão em funcionamento durante 9 horas diariamente. A melhor solução obtida para esta sala foi a instalação de LEDS com potência de 50w. A sala é idêntica a sala de informática sendo que a única diferença é o numero de horas que está a ser utilizada. Neste caso considerou-se que esta sala esta iluminada durante 9 horas diárias. Na tabela 8.14 podemos observar os resultados obtidos

Observando a coluna retorno verificamos que este valor é extremamente elevado. Neste caso só apartir do 5º mes do vigésimo quarto ano é que se começaria a obter retorno financeiro. Sendo assim esta solução não é viável.

## 8.2.12 Conclusão sobre implementação de Leds

De todos os espaços estudados em que os níveis de referência conseguiram ser respeitados, não existiu nenhum local que apresenta-se um retorno financeiro inferior a 12 anos, sendo que a maioria dos casos o retorno é efetuado apenas ao fim do vigésimo quarto ano. Comparativamente às lâmpadas fluorescentes T5 estudadas na secção anterior, verificamos que os LED tem um custo maior o que origina a que o seu retorno seja elevado nestas situações estudadas. Devido ao seu tempo de retorno elevado, podemos afirmar que a sua instalação não se torna viável, pelo que o seu estudo fica concluído.

## 8.2.13 Estudo implementação sensores de presença e crepusculares

Após a análise da situação existente na escola e dos valores obtidos de iluminação para cada espaço, verificou-se que em alguns espaços seria justificável o estudo sobre a colocação de sensores de presença ou crepusculares de modo a evitar que as lâmpadas estejam ligadas desnecessariamente. Esses espaços são caracterizados por estarem desocupados na maioria do tempo de funcionamento do edifício ao longo do dia.

### Sensores de presença e movimento

Os sensores de presença e de movimento permitem controlar e ligar as luzes caso detetem que alguma pessoa se cruza no seu campo de acção. Apesar do nome eles não são sensores de movimento/presença e sim sensores de variação de temperatura. E são calibrados para a temperatura do corpo humano. O sensor consegue, então, por meio da luz refletida pelo objeto, medir sua distância por meio de cálculo de frequência do sinal recebido.



Figura 8.36: Sensor de movimento escolhido

Uma solução encontrada foi o detetor de movimento 360° IP21 EE804 da marca Hager, com o preço de 45,81 euros por unidade e com as seguintes características:

- detetor de presença com campo de deteção de 360 graus para montagem no teto;
- alcance de até 6 m de diâmetro, com uma altura de montagem recomendada entre 2,5m e 3 m;
- possibilidade de escolha do intervalo de temporização que pode variar entre os 5 segundos até aos 15 minutos e escolha do intervalo de medida de luminosidade entre 5 até 1000 lux.

Os sensores de movimento são indicados para locais onde não é necessário manter as luzes ligadas o tempo todo (locais de passagem ou curta permanência), como corredores, casas de banho, arquivos.

**Corredores de circulação** O primeiro espaço analisado foi a de instalação de detetores de presença tais como os que já existem nas instalações sanitárias nos corredores de circulação. Contudo, durante o estudo percebeu-se que esta situação não é viável pelo facto de existir sempre circulação nos corredores, quer pelos funcionários de cada bloco, quer pelos alunos. Por isso esta solução não é viável.

### Salas de Aula

Através da análise do tempo de iluminação das salas de aula percebeu-se que elas só se encontram iluminadas no período de aulas, pelo que não se justifica a instalação deste tipo de sensores nestes espaços.

### Instalações Técnicas

Estes espaços estão, em média, iluminados durante 2h diariamente. São caracterizados por serem utilizados pelos técnicos quando existe alguma avaria ou reparação, e também usados pelas

funcionárias da limpeza, para armazenamento de materiais enquanto executam a limpeza do bloco, sendo que essa limpeza decorre das 17h as 19h originando que as instalações técnicas se encontrem iluminadas desnecessariamente. Através da análise da iluminação deste espaço, com a presença do sensor estima-se que a iluminação seja reduzida para apenas 30 minutos por dia. Analisando as dimensões do espaço, podemos determinar que um sensor seria suficiente para abranger todo o espaço. Na tabela 8.17 podemos observar os resultados obtidos.

Tabela 8.17: Análise da viabilidade de instalação de sensores presença

N. Horas Func.	Novo N. Horas	Cons. Anual(kWh)	Novo Cons. Anual(kWh)	Redução	Poupança(E)	Inves.(E)	Retorno
2h	0.5	3,53	0.88	75%	2,65	45.81	17.3 anos

Analisando a tabela 8.17 apercebemos que apesar de ser possível reduzir o custo anual em cerca de 75%, o seu tempo de retorno é bastante elevado tornando que esta solução não seja viável.

### Sala Bufete

Como referenciado no capítulo de redução de potência, esta sala é constituída por um bar, que tem um horário de funcionamento das 8h até as 17h horas. Mas este espaço não deixa de ser iluminado a partir da hora de encerramento do bar, sendo que continua iluminado até às 24h por uma questão de segurança, pelo que as lâmpadas estão em funcionamento durante 16h. Com os sensores instalados esta sala passava a se encontrar iluminada em média durante 11h. Devido as dimensões existentes, será necessário instalar 3 sensores, de modo a cobrir todo o espaço. Para a sua instalação irá ser utilizado o circuito já existente no quadro de piso.

Tabela 8.18: Análise da viabilidade de instalação de sensores presença

N. Horas Func.	Novo N. Horas	Cons. Anua(kWh)	Novo Cons. Anual(kWh)	Redução	Poupança(E)	Inves.(E)	Retorno
16	11	526.91	362.25	31	164.66	137.43	0.84 anos

Como é possível observar 8.18 instalando sensores de presença nesta sala o seu valor de custo anual irá ser consideravelmente inferior, pelo que esta solução se torna viável.

### Posto Trabalho bloco A5

Este posto de trabalho esta situado no bloco A5 e é constituído por 54 luminárias. Ele está iluminado durante 9h diárias, das 8h até as 17h, em todas as mesas, mesmo as que estão livres. Outra característica é que na hora de almoço, apesar de ter pouca afluência as lâmpadas encontram-se todas ligadas. Devido a este espaço ter uma área elevada, cerca de 270 metros quadrados, serão necessários 8 sensores de modo a cobrir todo o espaço. Estima-se que com os sensores seja possível reduzir a iluminação em duas horas. Para a sua instalação irá ser utilizado o circuito já existente no quadro de piso. Na tabela seguinte podemos observar os resultados obtidos:

Tabela 8.19: Análise da viabilidade de instalação de sensores presença

N. Horas Func.	Novo N. Horas	Cons. Anual(kWh)	Novo Cons. Anual(kWh)	Redução	Poupança(E)	Inves.(E)	Retorno
9	7	469.62	365.26	23	104.36	366.48	3.51 anos



Através dos sensores conseguimos obter uma redução ao consumo atual de 23%, sendo que o retorno está previsto demorar três anos e 6 meses. Como o tempo de retorno é aceitável, esta solução é viável.

Nas restantes divisões, não se justificava a utilização destes sensores.

De modo a obter o máximo proveito possível deste recurso e a máxima poupança no consumo de cada espaço, é necessário ter em atenção: :

- Não apontar os sensores diretamente para as janelas. Ao apontar os sensores para as janelas poderá receber a luz solar e causar falsos alarmes originando que a luz seja ligada.
- Não colocar perto de fontes de calor tais como ar condicionado, aquecedores, quadros eléctricos ou qualquer outro aparelho que irradie muito calor de modo a não causar falso alarme.

### **Sensores crepusculares**

Este tipo de sensores têm como princípio de funcionamento ajustar a luminosidade. Detetam quando existe falta ou excesso de luz de modo a ligar ou desligar a iluminação sempre que necessário. Por exemplo um sensor crepuscular que está definido para 500 lux ( luminosidade de uma sala de aula), quando essa luminosidade baixar do valor definido ele liga a iluminação. Da mesma forma que quando a luminosidade é superior aos 500 lux acontece o inverso.

A implementação destes sistemas implica que os balastros sejam todos reguláveis, para permitir a comunicação com um sensor, o que não se verifica nesta escola, visto serem balastros eletrónicos multi-potência sem regulação o que implicaria a instalação dos mesmos em cada um dos espaços isolados. Assim, a implementação em cada espaço necessitaria de substituição de todos os balastros e inclusão de um sensor que permitisse comunicar com os balastros reguláveis. Assim, esta solução não se mostrou viável para o caso em estudo.

### **8.2.14 Conclusão final sobre instalação de sensores**

Do estudo realizado para os espaços existentes na escola foi possível determinar dois espaços para a instalação dos sensores. Nestes dois espaços foram colocados sensores de presença da marca hager, com o preço unitário de 45,81 euros e na tabela 8.20 podemos verificar os resultados obtidos da poupança assim como o seu tempo de retorno:

Tabela 8.20: Análise da viabilidade de instalação de sensores na escola

Preço/ Unidade (E)	Nº Total Espaços	Investimento(E)	Poupança anual (E)	Retorno
45,81	2	503,91	241,79	2,085 anos

Podemos verificar que através dos sensores é possível obter uma poupança anual de 241,79 euros, com um tempo de retorno ligeiramente superior a dois anos, pelo que podemos considerar que este investimento é viável.

### 8.2.15 Consciencialização das pessoas

Pequenos gestos do dia-a-dia podem transformar-se numa grande ajuda para aumentar a eficiência energética. Pequenos contributos que todas as pessoas podem dar e que no fim resultam numa melhor forma de gerir o gasto de energia.



Figura 8.37: Imagem de sensibilização referente ao dia mundial da energia

Foi criado o dia nacional da energia, que é celebrado anualmente a 29 de maio e tem como objetivo alertar a população para a necessidade de desenvolver estratégias de eficiência energética. A celebração desta data visa alertar a população para a necessidade de desenvolver estratégias de eficiência energética.

Neste dia decorrem várias ações de sensibilização dos consumidores para as questões relacionadas com a energia. Das várias atividades promovidas são feitas demonstrações de como poupar energia e partilhadas dicas para escolher as melhores fontes de iluminação para todo o tipo de espaços.

Além deste dia é necessário complementar através de ações de sensibilização junto da comunidade escolar, destinadas a professores, funcionários e alunos, tendo como objeto a sensibilização para a utilização racional de energia e adoção de práticas comportamentais sustentáveis na área da eficiência no consumo de energia elétrica nos serviços e equipamentos da administração local. De seguida ficam exemplos 8.38 que podem ser colocadas nas escolas de modo a tentar sensibilizar as pessoas.



Figura 8.38: Imagem de sensibilização usada na Manvia

### 8.3 Projeto Fotovoltaico de Auto Consumo

Define-se como AutoConsumo (UPAC) a utilização de painéis solares fotovoltaicos para produção de energia para consumo próprio. Este sistema tem como objetivo incentivar os consumidores a produzirem e consumirem a sua própria energia criada sem ser necessário recorrer ao consumo da energia da rede.



Figura 8.39: Exemplo de Auto Consumo

Tal como exemplificado na imagem 8.39, um sistema de produção fotovoltaica bem dimensionado para o seu perfil de consumo apenas irá produzir parte da energia total necessária ao consumo, a outra parte continuará a ser adquirida à rede. Os sistemas de auto consumo têm de estar sempre ligados à rede de modo a fazer face às alturas em que não é possível produzir energia suficiente para as necessidades da escola. O excedente de energia produzida será injetado na rede, mas o seu preço de venda será muito reduzido pelo que o verdadeiro interesse passa por reduzir ao máximo a compra de energia à rede.

Para este tipo de sistemas sem recurso a bateria, o dimensionamento deverá obedecer ao perfil do utilizador que contrata o serviço, de forma a garantir que grande parte da energia que é produzida pelos sistemas fotovoltaicos é absorvida pelo consumo do utilizador.

As UPAC são reguladas pelo Decreto-Lei nº 153/2014 de 20 de Outubro de 2014. Analisando o Decreto-lei verificamos que para dimensionar os sistemas UPAC é necessário ter em consideração as seguintes restrições:

- O sistema fotovoltaico tem de uma potência inferior à potência contratada;
- O total de produção fotovoltaica não pode ser superior ao consumo anual total de energia

#### 8.3.1 Localização Geográfica e estudo da orientação e inclinação

A instalação está localizada nas coordenadas 41.9N, 8.38W. Na figura 8.40 é possível ter uma visão do local exato da instalação com a ajuda do Google Maps.

Esta imagem 8.40 corresponde à cobertura do pavilhão A5 e apresenta um telhado sem inclinação. O telhado tem uma área total de 1533 metros quadrados. Através do estudo do software PVGIS e à análise da média da inclinação ótima por mês pudemos concluir que os painéis serão

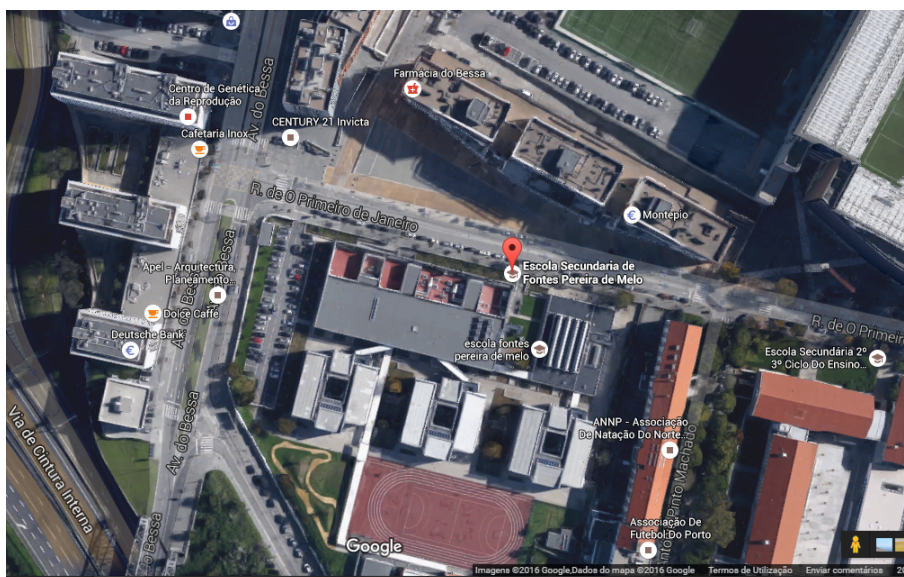


Figura 8.40: Local da instalação



Figura 8.41: Local da instalação

instalados com uma inclinação de 36 graus e com um ligeiro desvio relativamente ao azimute (11 graus).

Os painéis irão ser colocados com uma inclinação ótima de  $36^\circ$ , o que exigirá uma colocação de estruturas de painéis uma vez que os telhados da escola são planos. Devido à colocação dos painéis em estruturas será necessário calcular os espaçamentos necessários entre painéis de modo

a que estes não fiquem à sombra em determinadas alturas do dia em que ainda teriam um bom rendimento energético, que irá ser abordado num dos próximos subcapítulos.

### 8.3.2 Avaliação do recurso solar no local da instalação

Um aspeto absolutamente imperativo antes de se pensar em proceder à instalação de painéis fotovoltaicos para produção de energia elétrica consiste em averiguar o recurso solar existente. A execução desta etapa deve ser cuidada, recorrendo para tal a software adequado pois a maior ou menor escassez do recurso solar pode ter impactos significativos na viabilidade de concretização do projeto.

É importante realçar que no presente projeto, é pretendido que os painéis a serem instalados possuam direção otimizada todo o ano uma vez que estes não terão qualquer tipo de sistema de seguimento que permita otimizar a sua posição consoante o recurso solar existente em cada momento. Esta opção de não utilizar painéis com seguimento surgiu devido aos acrescidos custos de manutenção e instalação que dificilmente seriam compensados

A ferramenta PVGIS permitiu dar uma estimativa dos valores mensais de irradiação, tal como as temperaturas no local. Para uma melhor visualização dos dados, fez-se uma comparação gráfica entre a irradiação no local com plano horizontal (0 graus) e com plano com inclinação ótima (36 graus).

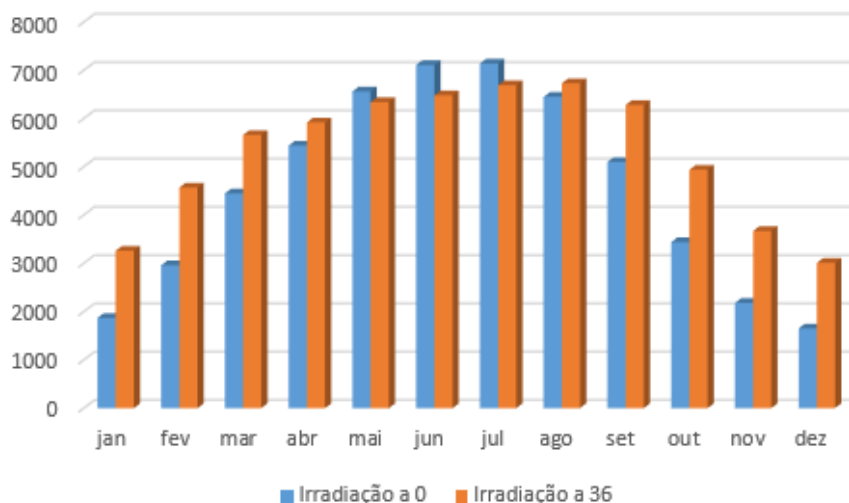


Figura 8.42: Comparação entre a irradiação no local com plano horizontal e com ângulo ótimo (36 graus).

Verifica-se no gráfico 8.42 que durante a maior parte dos meses do ano, a irradiação é superior no plano com ângulo ótimo do que em plano horizontal. No entanto, verifica-se também uma exceção nos meses de primavera/verão (maio, junho e julho), que o ângulo plano possui melhores resultados. Isto pode explicar-se do seguinte modo: para além de nos meses de verão o nível de irradiação ser elevado (não é necessária a inclinação do painel para obter bons resultados, pois tal



até pode causar sombreamento), o ângulo ótimo calculado corresponde a uma média do ângulo de inclinação ótima ao longo dos vários meses do ano.

Através do software SunCalc disponibilizado gratuitamente na Internet, foi possível analisar se o edifício em estudo dispõe de horas suficientes de sol para a instalação de painéis fotovoltaicos, ou pelo contrário, se é alvo de sombreamento pelos edifícios circundantes. O edifício só é alvo de sombreamento entre as 8h até às 9h20 da manhã, nos meses de Inverno (entre Dezembro a Fevereiro).

### 8.3.3 Painéis Solares

Um aspeto extremamente importante no desenvolvimento de um projeto desta envergadura é a escolha dos painéis solares a aplicar na instalação pois essa escolha define logo à partida vários parâmetros relevantes para o projeto entre os quais a potência máxima que é possível ser instalada, quantos painéis é possível colocar no local em questão, quanta energia será o sistema capaz de produzir, entre muitos outros.

O painel a utilizar para esta instalação será o Mprime 3R PLUS da empresa Martifer Solar e têm a potência máxima de 250W.

Segundo o catálogo e segundo as pesquisas efetuadas, uma das principais vantagens reside no facto destes apresentarem a melhor relação qualidade/preço. Estes painéis apresentam-se como sendo bastante robustos às mais diversas condições climáticas, suportando inclusivamente grão e neve. Outra característica que se apresenta como sendo vantajosa reside no facto de os painéis desta marca apresentarem uma superfície interna que aumenta a radiação solar absorvida. Neste género de equipamentos e uma vez que requerem investimentos avultados para a sua instalação, um aspeto importante prende-se na transmissão de segurança que é dada ao cliente através da garantia. Para o caso concreto destes painéis, a Martifer Solar destaca-se da generalidade dos fabricantes, que ao fim de 10 anos vêm os seus painéis reduzir a sua produção de forma significativa, oferecendo uma garantia de linearidade de performance que se estende por um período de 25 anos, nos quais pode ocorrer um decréscimo máximo anual de 0.68% da produção do painel. Além desta garantia de desempenho dos painéis ao longo do seu período de vida útil, é ainda dada uma garantia do produto válida por 10 anos. As características técnicas deste painel podem ser verificadas na tabela 8.21 e nos anexos deste relatório.

#### 8.3.3.1 Determinação do Numero máximo e mínimo de painéis por string

É necessário então analisar a influência da temperatura nas tensões para os casos mais extremos verificados ao longo do ano. Para o local de instalação foram consideradas temperaturas ambiente teóricas mínimas de  $-10^{\circ}$  e máximas de  $70^{\circ}$ , valores praticamente inatingíveis.

Da folha de características 8.21 podem ser retirados os valores de  $V_{mpp}$ ,  $I_{mpp}$ ,  $V_{oc}$  e por fim o coeficiente de temperatura da tensão  $\beta$ . As condições standart são de  $25^{\circ}\text{C}$  de temperatura

Tabela 8.21: Características elétricas dos painéis solares de 250W da Mprime

Pot. Nominal	Pmax	250W
Tolerância de Potência		0/+5W
Corrente do MPP	Impp	8,32A
Tensão do MPP	Vmpp/Umpp	30,25V
Tensão em Curto-Circuito	Voc/Uoc	37,32V
Corrente em Curto-Circuito	Isc	8,84A
Eficiência do modulo		15,1
Tensão máxima do sistema	Vsyst	1000V
Corrente máxima do fusível	If	15A
NOCT		45

de célula do painel, pelo que nas equações 8.1 e 8.2 o cálculo da diferença de temperatura é em relação aos 25°C.

$$\begin{aligned}
 V_{ca}(-10^{\circ}\text{C}) &= \left(1 - \frac{\Delta T \times \beta}{100}\right) \times V_{oc} \\
 &= \left(1 - \frac{35 \times (-0,313)}{100}\right) \times 37,32 = 41,408\text{V}
 \end{aligned} \tag{8.1}$$

$$\begin{aligned}
 V_{mpp}(70^{\circ}\text{C}) &= \left(1 - \frac{\Delta T \times \beta}{100}\right) \times V_{mpp} \\
 &= \left(1 - \frac{45 \times (-0,313)}{100}\right) \times 30,25 = 34,51\text{V}
 \end{aligned} \tag{8.2}$$

O número máximo de painéis por string é calculado pelo quociente entre a tensão de entrada do inversor e a tensão em circuito aberto do módulo à sua temperatura mínima (-10°C).

$$\begin{aligned}
 N_{mxpainis} &= \frac{V_{mxDcinv}}{V_{ca} - 10^{\circ}\text{C}} \\
 &= \frac{1000}{41,408} = 24,149
 \end{aligned} \tag{8.3}$$

Como o número de inversores tem de ser um número inteiro, o numero máximo de painéis por string é de 24 painéis.

Para a determinação do número mínimo de painéis por string, considera-se o caso em que o sistema fotovoltaico é interrompido de forma abrupta, pela rede ou por outro motivo, formando-se uma tensão em circuito aberto muito grande. Para isso é necessário que a tensão de entrada do inversor seja superior à tensão em circuito aberto da string. o numero mínimo de painéis por string determina-se pelo quociente da tensão MPP mínima do inversor pela tensão do módulo quando a

sua produção é máxima, a uma temperatura de 70°C.

$$N_{minpainis} = \frac{V_{minDcinv}}{V_{mpp70^{\circ}C}} = \frac{150}{34,51} = 4,35 \quad (8.4)$$

Arredondando o valor para cima e para a unidade mais próxima, o valor mínimo de painéis por string é de 5 módulos fotovoltaicos.

### 8.3.3.2 Sombreamento

O sombreamento é então um fator que deve ser tido em consideração sempre que se projeta um sistema de produção de energia solar e se introduzem estruturas metálicas de suporte dos painéis (por exemplo quando os telhados onde estes são aplicados são planos) e basicamente mostra a que distâncias devem estar duas fileiras consecutivas de painéis para que a sombra produzida por uma delas não cause sombras que se tornem problemáticas na fileira seguinte. Devido ao sombreamento que os painéis podem causar uns aos outros, há uma distância mínima que deverá existir entre as bases dos painéis de fileiras consecutivas.

#### Altura mínima do Sol

O distanciamento entre fileiras necessita do valor da altura mínima do Sol. O valor da latitude da Escola Secundária é de 41,16°, contudo existem mais alguns valores necessários para o cálculo tais como:

-Ângulo horário solar (hs) – na hora para a qual o cálculo é realizado apresenta um ângulo nulo (0°);

-Declinação solar (ds) – no hemisfério Norte, onde se encontra Portugal, o valor para o Solstício de Inverno deste parâmetro é -23.45°;

-Hora solar (ts) – o cálculo é realizada para o meio-dia (12 horas).

Na expressão podemos calcular, para a altura mínima solar, o valor necessário.

$$\sin \beta = \sin 41,16 \times \sin -23,45 + \cos 41,16 \times \cos -23,45 \times \cos 0 \quad (8.5)$$

$$\beta = 25,39^{\circ}$$

#### Altura do módulo

O módulo fotovoltaico tem como dimensões 1,64 metros de comprimento e 0,992 metros de largura e foi será instalado a uma inclinação de 36°. É importante o cálculo desta altura pelo



facto de se considerar o principal obstáculo à passagem da radiação solar para o nível do plano do telhado. É necessário recorrer aos triângulos e à forma trigonométrica.

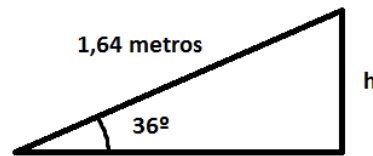


Figura 8.43: Altura do painel com inclinação de 36°

$$\begin{aligned}\sin 36 &= \frac{h}{1,64} \\ &= 1,64 \times \sin 36 = 0,96m\end{aligned}\tag{8.6}$$

Com uma inclinação de 36° o ponto mais alto dos módulos fotovoltaicos é de 0,96 metros. Através do teorema de Pitágoras podemos calcular a distância compreendida, no plano do telhado entre os pontos extremos do módulo, que serve como comprimento ocupado no telhado. Através do valor obtido da altura e do comprimento do painel, obteve-se um valor do cateto adjacente de 1,33 metros.

Para realizar o cálculo da distância entre o ultimo ponto do painel da primeira fileira e o primeiro ponto do painel da segunda fileira surge a necessidade de introduzir o valor encontrado do ângulo para a altura mínima do sol. O valor obtido da altura do módulo irá representar o cateto oposto de um triângulo imaginário, sendo que pretendemos calcular o valor do cateto adjacente.

$$\begin{aligned}\tan 25,39^\circ &= \frac{0,96}{d1} \\ d1 &= \frac{0,96}{\tan 25,39} = 2,02m\end{aligned}\tag{8.7}$$

Obtem-se a distância X referenciada na imagem 8.44 através da soma da distância desde o ultimo ponto do painel da primeira fileira e o primeiro ponto do painel da segunda fileira com a distância compreendida, no plano do telhado entre os pontos extremos do módulo, efetuada na equação 8.8

$$\begin{aligned}x &= 2,02 + 1,33 \\ x &= 3,35m\end{aligned}\tag{8.8}$$

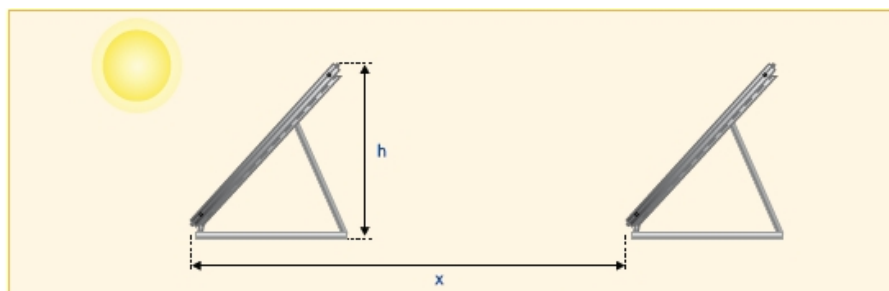


Figura 8.44: Distância entre fileiras

A distância mínima que deverá existir entre as bases dos painéis fotovoltaicos que permite a eliminação das perdas de rendimento derivadas do sombreamento é de 3,35 metros.

### 8.3.4 Inversor

Um elemento de extrema importância na realização de um projeto fotovoltaico é o inversor. Este equipamento tem como missão proceder à transformação da energia que é fornecida em corrente contínua (DC) pelo módulo fotovoltaico em corrente alternada (AC) para que a energia por ele produzida possa ser utilizada quer para consumo dos equipamentos internos à instalação quer para que possa ser entregue à rede pública de distribuição. No entanto, os inversores têm ainda outra função que merece destaque que passa pela sua capacidade de fazer com que o conjunto de painéis solares utilizados na instalação estejam a cada momento a funcionar no seu ponto de potência máxima.

Realizado então o devido enquadramento com a importância deste equipamento, o passo seguinte passou pela realização de uma pesquisa e pela escolha de uma marca e de um ou mais modelos para serem utilizados na instalação. A escolha recaiu na utilização de inversores da SMA e cujo modelo é comercialmente denominado por “Sunny Tripower”. Dentro deste modelo específico de inversor existem mais 6 submodelos cuja única característica distinta é a potência estipulada e, logicamente, o seu preço, uma vez que pelas pesquisas efetuadas nos vários revendedores deste produto, quanto mais elevado for o valor da potência, maior é o preço do mesmo.

Por uma questão de uniformização e também de obtenção de um menor custo global de instalação optou-se, do ponto de vista técnico, por escolher todos os inversores iguais e de potência máxima 20000W, denominados por SMA Sunny Tripower 20000TL-30 e cujas principais características podem ser observadas no documento presente em anexo.

Apresentada que está a escolha dos inversores a serem empregues no projeto, existe a necessidade de justificar o seu uso, dada a existência de muitos outros produtos semelhantes no mercado. Sendo assim, os principais motivos para a escolha deste modelo de inversor foram a sua eficiência elevada (98.2%), a tecnologia de seguimento do MPP que permite para cada instante temporal, e dependendo da irradiância, obter a máxima potência disponível e sua ampla versatilidade que se traduz pela deteção automática de falhas nas strings a que está ligado, pela compatibilidade praticamente universal com os módulos fotovoltaicos existentes no mercado. Além de todas estas

mais valias, consultando o manual de utilizador deste tipo de inversor é possível perceber que, ao contrário de muitos outros modelos presentes no mercado, este modelo apresenta-se significativamente mais intuitivo e apelativo na interface apresentada ao utilizador no ecrã sensível ao toque de que dispõe. Através deste ecrã é possível observar praticamente em tempo real (de 5 em 5 segundos) o valor de algumas grandezas tais como a potência atual, a energia produzida ao longo do dia, o total de energia produzida desde a instalação do inversor, a tensão de entrada e a tensão de saída. Além do valor das referidas grandezas é ainda possível verificar a evolução diária da curva da potência produzida. Todas estas funcionalidades podem ser vistas na imagem 8.45

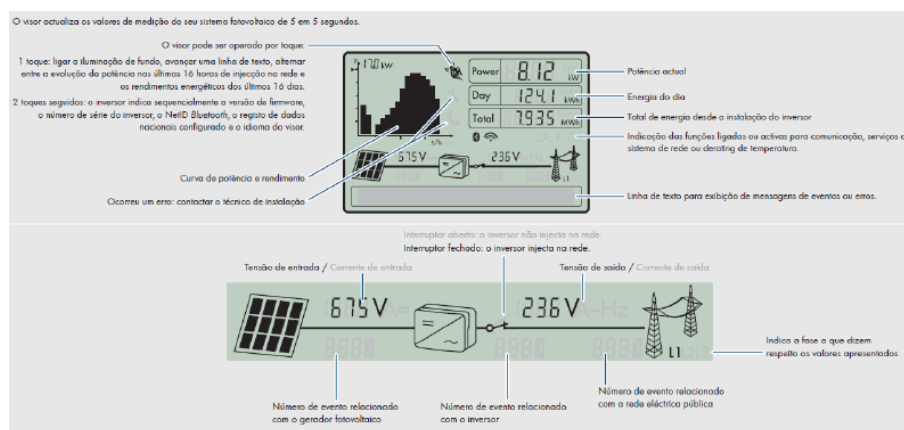


Figura 8.45: Dados fornecidos pelo inversor (catálogo do fabricante)

Quanto à sua composição, este inversor apresenta dois MPPT's denominados de canal A e de canal B, algo que se torna muito útil essencialmente em situações em que se sabe de antemão que o sistema terá duas áreas em que o nível de irradiância será significativamente distinto ao longo do dia. No caso em estudo tal não se verifica dado que se pretende cobrir apenas, ainda assim, se utilizarão os dois canais do inversor de forma a não sobrecarregar em demasia e, de forma desnecessária, um dos MPPT's.

### 8.3.5 Configuração do sistema fotovoltaico

Após a escolha do tipo de painel e inversor a ser utilizado, o próximo passo foi a análise do consumo da escola de modo a se definir as suas necessidades energéticas.

Através das faturas anuais emitidas pela EDP analisou-se o consumo mensal da escola sendo retirado os valores de vazio e de super vazio pois nesses ciclos horários não irá existir produção de energia através dos painéis devido à ausência de Sol. Após isso foi obtido o valor diário tanto no período de cheia como no período de ponta, sendo que depois dividiu-se esse valor pelo número de horas existentes de cada tipo para se obter o pico de consumo máximo. Na figura 8.46 podemos visualizar os resultados obtidos.

kWh	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril
Consumo em Ponta	5395,0	4882,0	4440,0	1854,0	4040,0	6919,0	7872,0	6189,0	8072,0	7690,0	7677,0	5742,0
Consumo em Cheias	15952,0	14716,0	14866,0	7954,0	13039,0	18336,0	16955,0	13449,0	17452,0	16553,0	16574,0	16463,0
Consumo Diário em ponta	174,0	162,7	143,2	59,8	134,7	223,2	262,4	199,6	260,4	274,6	247,6	191,4
Consumo diário em cheias	514,6	490,5	479,5	256,6	434,6	591,5	565,2	433,8	563,0	591,2	534,6	548,8
potencia ponta	58,0	54,2	47,7	19,9	44,9	74,4	52,5	39,9	52,1	54,9	49,5	63,8
potencia cheia	36,8	35,0	34,3	18,3	31,0	42,2	47,1	36,2	46,9	49,3	44,6	39,2

Figura 8.46: Pico máximo de consumo da escola

O valor de maior consumo da escola foi obtido durante o mês de Outubro, sendo o valor de 74,4kW. Devido ao reduzido rendimento que os painéis solares apresentam, é usual se sobredimensionar o sistema em 20% pelo que o valor a utilizar neste estudo passou a ser de 89,30kW.

Posteriormente à estimativa da potência que deve ser instalada no edifício de modo a responder às necessidades energéticas da escola, o próximo passo é resolver um problema de otimização em que se tentará maximizar o número de painéis/strings passíveis de serem colocados no local. Após várias tentativas de colocação dos painéis solares em diferentes posições, com diferentes tamanhos de string, a melhor solução a que se chegou foi a que se apresenta na figura seguinte [8.47](#)

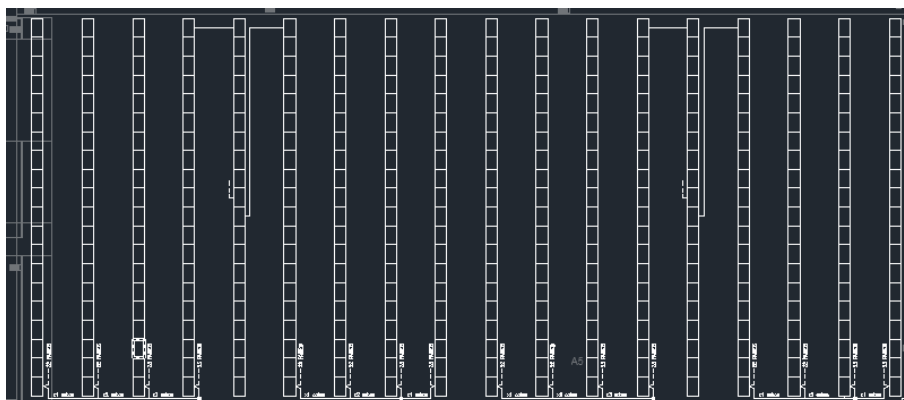


Figura 8.47: Esboço do modo de aplicação das strings no telhado do bloco A5 da Escola Fontes Pereira de Melo

Analisando então a solução a que se chegou e que se encontra representada na figura [8.47](#), tendo em atenção o espaçamento necessário entre painéis de modo a evitar sombreamento, conseguiu-se instalar 360 painéis fotovoltaicos sendo estes suficientes para atingir o valor obtido para responder às necessidades energéticas da escola.

Após a decisão do número de painéis instalados, o próximo passo consistiu em implementar essa mesma solução no software SunnyDesign 3. Foi utilizado este software pelo facto de este permitir tanto o planeamento como o dimensionamento do sistemas fotovoltaicos.

A escolha dos inversores neste software tem um parâmetro de dimensionamento automático. Após a escolha do inversor Sunny Tripower 20000TL-30 o programa sugere a divisão de strings e o tamanho de cada uma. Uma vez que o inversor escolhido apresente dois canais (MPPTs), o programa indicou que a cada um desses canais se ligariam duas strings, perfazendo um total de

quatro strings por inversor. Na entrada A irá se ligar duas strings com tamanho de vinte e três painéis cada uma, enquanto que na entrada B serão duas strings de vinte e dois painéis.

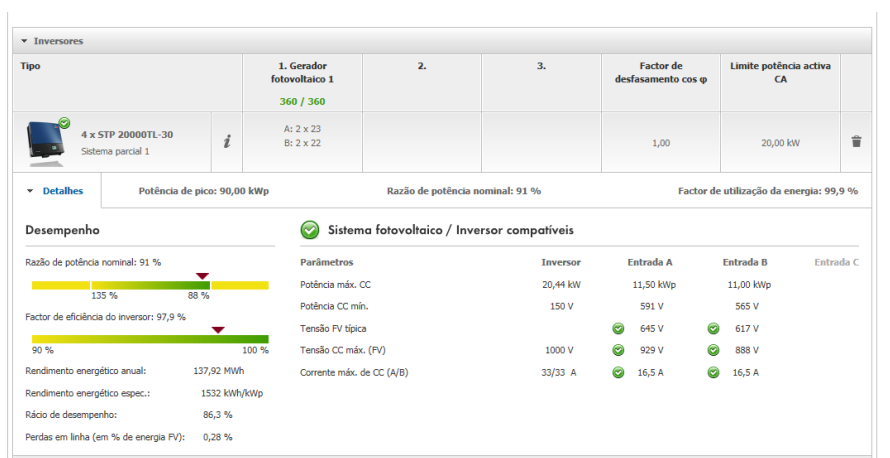


Figura 8.48: Janela de dimensionamento dos inversores

Como se pode observar na imagem 8.48 a razão de potência nominal toma um valor de 91%. A potência de um inversor deve ser superior a 70% da potência fotovoltaica e inferior a 120%. Uma das vantagens que se levou em conta para a escolha de um inversor com potência inferior ao do gerador fotovoltaico é que a eficiência do inversor acaba por ser reduzida para as gamas de potência operacionais menores que 10% da potência nominal, uma vez que, anualmente, os valores de irradiância superam em poucas ocasiões os 850W/m<sup>2</sup>. Devido a esta situação, o inversor foi subdimensionado.

Como o inversor deve ser protegido da exposição direta a raios solares, chuva e outras fatores externos, de modo a prolongar a sua vida útil, estes foram instalados no piso 0 do edifício A5.

### 8.3.6 Dimensionamento dos cabos e proteções

Neste subcapítulo dá-se lugar ao dimensionamento dos cabos e fusíveis.

O sistema fotovoltaico em questão possui dois tipos de cabos: cabos DC e cabos AC. O dimensionamento de cabos DC diz respeito a todos os cabos que se encontrem entre os módulos e o inversor, ou seja, dos módulos para as strings e das strings para os inversores. Esses inversores, tal como o nome indica, farão a conversão da corrente DC para AC, de modo a que possa ser enviada a eletricidade para a rede. A partir dos inversores sairão cabos AC, que vão ser ligados primeiramente a um armário de distribuição, e posteriormente ao Posto de Transformação da escola.

#### 8.3.6.1 Lado Dc

Todos estes cabos de ligação têm de ser corretamente dimensionados para que possam suportar as correntes provenientes de cada uma das strings para o inversor. Devem também ser capazes de

garantir a segurança do sistema. Como tal o mais indicado será considerar o caso mais desfavorável, sob uma temperatura elevada, pois quanto maior a temperatura maior é a corrente, garantindo assim que o cabo suportará os restantes valores de corrente a temperaturas mais baixas. No caso mais desfavorável, o cabo tem o comprimento de  $l=110$  metros. O cabo terá de ser capaz suportar uma sobrecarga de corrente até 25% superior à corrente de curto-circuito dos painéis. Logo:

$$\begin{aligned} I_z &\geq 1,25 \times I_{sc} \\ I_z &\geq 11,05A \end{aligned} \quad (8.9)$$

O próximo passo será determinar a secção do cabo a utilizar de modo a que se verifique a seguinte condição:

$$I_{cabo} \leq I_z \quad (8.10)$$

Procedeu-se à procura de um cabo que fosse adequado para este tipo de aplicação. Considerando o resultado anterior e as especificações expressas na imagem 8.49 do catálogo do cabo escolhido, é possível constatar que a escolha da secção de 2.5 milímetros quadrados suporta uma corrente de 33 A, pelo que já satisfaz a corrente máxima prevista para o cabo, sendo que qualquer secção existente deste cabo também satisfaz a condição da corrente máxima prevista.

Cross-section mm <sup>2</sup>	Open air A	Surface A	Voltage drop V/A·km
1 x 2,5	41	33	23,0
1 x 4	55	44	14,3
1 x 6	70	57	9,49
1 x 10	98	79	5,46
1 x 16	132	107	3,47
1 x 25	176	142	2,23
1 x 35	218	176	1,58

Figura 8.49: Características dos cabos DC

A secção do cabo a aplicar é determinada pela seguinte expressão, com base numa queda de tensão máxima de 1% de de VMPPT e de uma corrente que corresponde à corrente máxima que todos os componentes devem suportar ( $1,25 \times I_{sc}$ ). Assim sendo a secção mínima a utilizar é obtida da seguinte forma:

$$S > \frac{2 \times L \times I_{cabo}}{1\% \times N_s \times k \times V_{mpp}} \quad (8.11)$$

Em que:

$N_s$  - nº de painéis por string (23 para o caso mais desfavorável)

L - comprimento do cabo (m)

VMPP - VMPP do painel (30.25V)

K – condutividade do cobre (cobre – 56)

O valor resultante do cálculo indicará que a secção do cabo a escolher terá que ser superior a esse valor mas o software executa o cálculo automático obtendo-se uma secção mínima de 6 milímetros quadrados para o cabo DC que liga a string diretamente ao inversor. A escolha do cabo DC recaiu sobre o cabo TOPSOLAR PV ZZ-F / H1Z2Z2-K da empresa Top Cable. Este cabo admite uma corrente máxima de 57A, o que verifica perfeitamente as condições necessárias. Dado que existem no sistema 16 strings, e de cada string saem 2 cabos, existirão 32 cabos de 6 milímetros quadrados. Fazendo as contas simples assumindo que as distâncias seriam iguais ao pior caso, perfazia uma distância de cabo de 3520 metros, o que não é real. Através do software AutoCad foi possível realizar os cálculos de comprimento do cabo necessários e verificou-se que seriam necessários 2320 metros de cabo. De modo a ser deixado alguma folga, assumiu-se que o valor de metros necessários para os cabos Dc é de 2520 metros.

Na imagem 8.50 podemos visualizar o dimensionamento destes cabos no programa Sunny Design 3, dado que este software permite dimensionar os cabos CC automaticamente, desde que seja utilizado na realização dos cálculos o pior caso, ou seja, o cabo com maior comprimento. Um fator importante a ter em conta é a potência dissipada relativa, que não pode ser superior a 1%. Essa consideração deve ser feita em relação ao valor máximo que a queda de tensão pode ter, que é de 1% da tensão prevista.

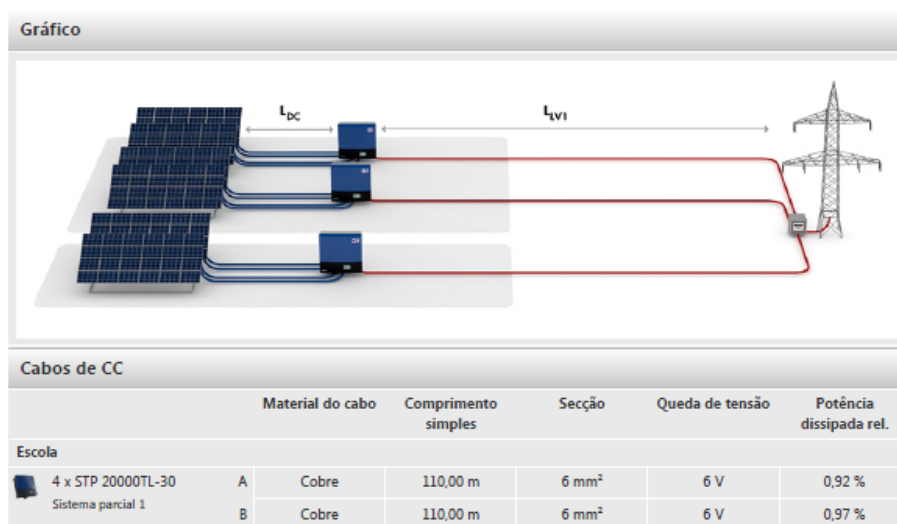


Figura 8.50: Dimensionamento dos cabos DC no programa Sunny Design 3

Na imagem 8.50 verificamos que os valores referentes à potência dissipada relativa (0.92% e 0.97%) se encontra dentro do limite.

### Fusível

A separação entre os painéis solares e um determinado inversor é efetuada por fusíveis. Para todas as strings, devem haver sempre 2 fusíveis, um para o terminal positivo do cabo e outro para o terminal negativo do cabo. A colocação de fusíveis nas duas extremidades de cada fileira contribui para o isolamento elétrico independente e proteção de cada string.

Os fusíveis devem estar aptos para funcionar a um valor de tensão que pode ser calculado a partir da expressão:

$$\begin{aligned} V_{fusvel} &\geq N \times V_{oc} \times 1,15 \\ V_{fusvel} &\geq 23 \times 37,32 \times 1,15 = 987V \end{aligned} \quad (8.12)$$

Em que:

N - n° de painéis em série por cada string

V<sub>oc</sub>- tensão em circuito aberto do módulo

A expressão a partir da qual se pode obter a corrente nominal de um fusível de fileira é a seguinte:

$$\begin{aligned} I_n &> 1,56 \times I_{sc} \\ I_n &> 1,56 \times 8,84 = 13,79A \end{aligned} \quad (8.13)$$

É então necessário um fusível com  $I_n$  superior a 13,79A e a 987V. Tendo em conta as características anteriores, escolheu-se o fusível da marca Hager com dimensões 10x38mm e características de tensão e corrente, respetivamente, 1000V DC e 15A [8.51](#). Uma vez que cada string tem que estar protegida por dois fusíveis, este sistema terá um total de 32 fusíveis.



Figura 8.51: Fusível do fabricante Hager

Deverão ser adquiridas caixas estanque, que possam alojar os porta-fusíveis onde serão instalados os fusíveis. Foram averiguadas as opções no mercado, optando-se por porta-fusíveis da marca Hager, referência LR601, com intensidade nominal de 50A e caixas estanque do fabricante Hager, de referência VE312SN, sendo capazes de proporcionar proteção IP65, ou seja, proteção



contra jatos de água e poeiras. Outra das razões pela qual este tipo de caixa estanque foi escolhida foi devido à capacidade para alojar 36 porta-fusíveis, reduzindo assim o número de caixa necessárias a apenas 1.

### **Interruptor de corte DC**

O interruptor DC é instalado no sistema entre cada inversor e a fileira de strings correspondente, por forma a ser possível isolar elétrica e manualmente essa zona, tornando-se seguro proceder inicialmente à sua instalação e permitindo a redução de ocorrências de contactos diretos durante atos de manutenção.

Comparativamente aos interruptores AC, os interruptores DC têm uma exigência técnica muito maior, visto que há várias passagens por segundo em 0 em DC que devem ser cortadas por estes, tornando-os mais caros.

Este deve ser dimensionado para funcionar à tensão máxima do gerador solar à temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  8.14 e deve possuir uma corrente nominal 8.15 obtida recorrendo as equações:

$$\begin{aligned} U &\geq U_{oc} \\ U &\geq 41,408 \times 23 = 952,38V \end{aligned} \quad (8.14)$$

$$\begin{aligned} I_{nDC} &> 1,25 \times I_{sc} \\ I_n &> 1,25 \times 8,84 = 11,05A \end{aligned} \quad (8.15)$$

Em que:

$U_{oc}$  - valor de tensão em circuito aberto por string à temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$

Foram procurados interruptores DC que melhor se adequassem a esta central fotovoltaica, atendendo aos valores acima calculados. Dentro do catálogo do fabricante Hager encontrou-se um tipo de interruptor adequado, cujo modelo é SB432PV, que permite o seccionamento de quatro strings por inversor, ideal para o sistema a ser projetado, pelo que se optou por esta solução. O sistema irá necessitar então de 4 interruptores deste tipo, responsáveis, cada um, por seccionar as 4 strings de cada inversor.

### **8.3.6.2 Lado Ac**

Neste subcapítulo procede-se ao dimensionamento dos cabos e fusíveis em corrente alternada. Antes de começar o dimensionamento, é preciso ter em consideração o panorama geral do lado AC desta instalação. A instalação tem 4 inversores que ficaram ligados ao lado AC através de cabos que farão a conexão entre estes e o armário de distribuição. Por sua vez este armário irá ser ligado ao Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT).

Um dos fatores a ter em conta no dimensionamento dos cabos Ac é o facto da queda de tensão máxima não ser superior a 1%.

Tal como no desenvolvimento dos cabos Dc, o software realiza os cálculos do dimensionamento automaticamente.

O cabo AC deve ser dimensionado de forma a verificar a condição de aquecimento e a condição de queda de tensão. Por outro lado, segundo o RTIEBT, a secção mínima que os cabos de um ramal deverá ter é de 6mm quadrados. Foi então com esta secção mínima dos cabos com três fases e neutro que foi feito o estudo da verificação das condições. De notar ainda que serão instalados cabos com isolamento a PEX (Polietileno Reticulado) devido às suas melhores características de isolamento e propagação do fogo.

Começando pelo cabo que ligará os inversores ao respetivo Armário de distribuição, foi feita a verificação da condição de aquecimento. Sabe-se que, para a condição ser verificada, a corrente nominal do condutor deverá ser superior à corrente máxima do inversor. Para isso, consultando a tabela 10.2 do RTIEBT, obtém-se facilmente o método de referência do cabo em questão, considerando que este é de cobre e estará fixado diretamente na parede-método de referência C. Seguidamente, consultando o Quadro 52-C4, para três condutores ativos, secção de 6mm<sup>2</sup> e isolamento a PEX, a corrente máxima admissível é de 52A. Sendo a corrente máxima de saída do Inversor de valor 29 A, verifica-se que a corrente máxima admissível do cabo é bastante superior a esta, logo a condição está verificada.

No que toca à queda de tensão, é necessário a realização de alguns cálculos. Considerando o fator de potência unitário, a queda de tensão máxima calcula-se através de:

$$\Delta U = R_f(90^\circ\text{C}) * L_{max} * I_B$$

Figura 8.52: Formula para a verificação da queda de tensão

Em que:

- $R_f(90^\circ)$  é a resistência de fase do condutor para a temperatura máxima de funcionamento – 90°C, pois trata-se de um cabo isolado a PEX.

$L_{max}$  é o comprimento máximo que o cabo pode ter, que neste caso é 3m.

- $I_B$  é a corrente de serviço máxima do cabo, ou seja, a corrente máxima de saída do inversor

Através do dimensionamento do cabo realizado automaticamente no programa, obteve-se que através de um cabo com 6mm de secção a queda de tensão obtida é inferior a 1%, cerca de 0,11%.

Assim sendo, a secção mínima de 6mm<sup>2</sup> é mais que suficiente para que as condições de segurança estejam garantidas. Assim, sugere-se a utilização do cabo XV 4G6.

A figura 5.69 apresenta o dimensionamento dos cabos LV1 que vão, desde cada um dos inversores até ao armário de distribuição, que foi idealizado junto aos inversores e daí necessitar de apenas de 3 metros para a ligação a cada inversor. Devido a estarem instalados 4 inversores, este cabo terá 12 metros de comprimento (4x3)

Passando agora para o cabo que ligará os AD's ao Quadro Geral de Baixa Tensão, comece-se por verificar a condição de aquecimento. Neste caso, a corrente máxima que circulará no cabo é a

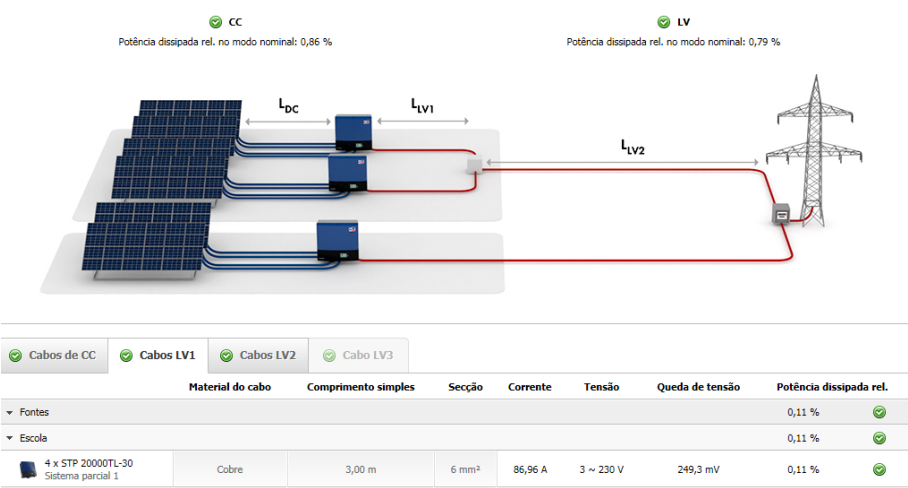


Figura 8.53: Dimensionamento dos cabos AC desde o inversor até ao armário de distribuição no programa Sunny Design 3

soma das correntes máximas dos 4 inversores que estão ligados ao AD. Assim, tem-se  $4 \times 29 = 116$  A.

O programa na execução do cálculo do dimensionamento deste cabo sugere a utilização de um cabo com uma seção de 70mm.

Voltando a recorrer às tabelas do RTIEBT, para o mesmo método de referência (Método C) e o mesmo tipo de cabo (cobre, isolamento a PEX, 3 condutores ativos), a corrente máxima admissível que satisfaz a condição de aquecimento de um cabo com 70mm tem valor de 229A. Este valor satisfaz a condição de aquecimento.

Analisando o dimensionamento realizado pelo Sunny Design 8.54 verificamos que o valor da queda de tensão é inferior a 1%, pelo que o cabo de 70mm quadrados satisfaz a condição de queda de tensão.

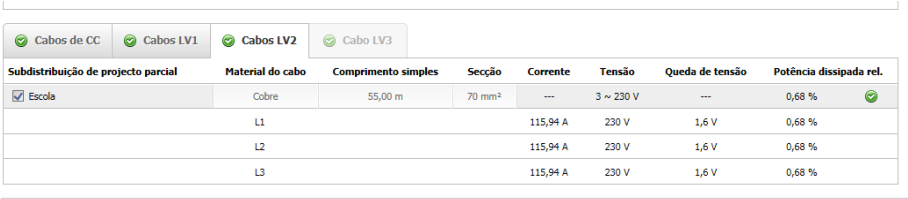


Figura 8.54: Dimensionamento dos cabos AC desde o AD até ao QGBT no programa Sunny Design 3

Assim, sugere-se a utilização do cabo XV 3x70+35, com um tamanho total de 55 metros quadrados.

**Interruptor Omnipolar Geral**

O Quadro Geral de Baixa Tensão deverá possuir um interruptor tetrapolar geral com poder de corte suficiente para as correntes de serviço. Através da seguinte formula consigo obter a corrente

pretendida:

$$Potencia = U \times I \times \cos \phi = \sqrt{3} \times 400 \times 1$$

$$I = 115,47A \quad (8.16)$$

Obtivemos um valor de 115,47 e através do estudo dos interruptores disponíveis na marca Hager, escolheu-se o interruptor com referência HA451 e corrente de serviço de 125A.

Findo o dimensionamento tanto Dc como Ac, podemos ver na seguinte imagem o projeto final.

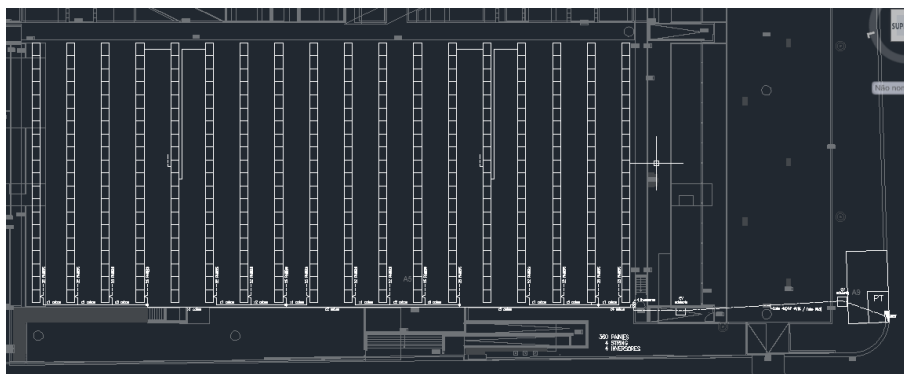


Figura 8.55: Desenho final

Os cabos que vêm de cada inversor para o respectivo quadro elétrico parcial, serão protegidos por um disjuntor e um interruptor diferencial que terá maior capacidade que a primeira proteção para respeitar a tal seletividade.

### Disjuntor

Os disjuntores AC estarão encarregues da proteção de cada cabo que liga os AD's aos inversores. Para realizar o seu dimensionamento, é necessário ter em conta a condição de sobrecarga do cabo, dada por 2 condições:

$$I_f < 1,45 \times I_z \quad (8.17)$$

$$I_b < I_n < I_z \quad (8.18)$$

Em que:

$I_b$  - corrente máxima admissível do cabo (A);

$I_n$  - Corrente nominal do fusível/disjuntor (A);

$I_z$  - Corrente máxima admissível no cabo (A);

Na pesquisa por um disjuntor compatível, acabou por se escolher um de calibre 40A, com  $I_f=58A$ . Uma vez que, tanto para os disjuntores relativos aos AD's Z como ao AD'x, a condição de sobrecarga está verificada, uma vez que se tem que:

$$I_b=29A, I_n= 40A \text{ e } I_z= 116A$$

As condições estão verificadas pelo que se recomenda cinco disjuntores da marca Hager, referência HMX440 com  $I_N=40A$ .

### Proteção Diferencial

Uma vez que os inversores não apresentam transformador de isolamento e as massas são ligadas à terra, deve existir, do lado AC, um interruptor diferencial. Este interruptor deve ter uma sensibilidade geral de 30mA (devido às correntes residuais capacitivas, que rondam esses valores em sistemas FV). Uma vez que os disjuntores dimensionados são todos de 40A, este dispositivo terá também que possuir uma corrente nominal de igual valor. Este será colocado a montante de todos os disjuntores, no respetivo AD. Para este fim, recomenda-se o uso do equipamento da Hager, com referência CFB440A, Tetrapolar, com sensibilidade diferencial de 30mA.

### 8.3.7 Análise da Rentabilidade obtida

Por forma a realizar uma correta análise da viabilidade económica deste projeto, torna-se imprescindível a realização de uma estimativa dos custos inicial que este investimento trará. Durante o dimensionamento dos diversos componentes, foram dadas sugestões de equipamentos de determinados fabricantes. Abaixo, apresenta-se então a tabela com os materiais a utilizar, quantidade, preço por unidade e preço total, assim como o valor a investir inicialmente com este projeto [8.22](#)

Tabela 8.22: Lista de material necessário, respetivo preço e valor do investimento necessário

Tipo	Designação	Preço Unit(Euros)	Quantidade	Total(Euros)
Cabo Dc	Top Solar PP ZZ-F	904,56/Km	2,52km	2.279,49
	Cabo 4G6	3.123,20	0,012km	37,48
Cabo Ac	Xv 3x70+35	28820,40/km	0,055Km	1.585,75
Fusíveis Dc	10x38 1000V 15A	6,13	32	196,16
	Porta Fusível	11,56	32	369,92
	Caixa Estanque	101,52	1	101,52
Interruptor Dc	4P 32A 1000V	193,22	4	772,88
Interruptor Ac	Tetrapolar 125A	104,28	1	104,28
Painéis	Mprime 250WP	162	360	58.320,00
	Suporte Painéis	41,4	162	14.796,00
Inversor	Sunny Tripower 20000TL-30	4.090	4	16.360,00
	Total Investimento			95.193,00

Na tabela [8.22](#) observamos os custos iniciais necessários para a instalação desta Unidade de Produção de Autoconsumo. De notar que não foram consideradas ações de manutenção nestes custos, pois estima-se que estas sejam raras, uma vez que a chuva por si só limpará os painéis. No entanto, caso seja necessária essa manutenção, os custos podem ser considerados contidos no valor acima apresentado, uma vez que o estudo foi feito por excesso. O valor final é de 95193 euros.

Na figura 8.56 podemos obter as informações do projeto final:

Informações do projecto			
Quantidade total de módulos FV	360	Rácio de desempenho	86,1 %
Potência de pico	90,00 kWp	Rendimento energético espec.	1529 kWh/kWp
Número de inversores fotovoltaicos	4	Perdas em linha (em % de energia FV)	0,56 %
Potência nominal CA dos inversores fotovoltaicos	80,00 kW	Carga desequilibrada	0,00 VA
Potência activa CA	80,00 kW	Consumo anual de energia	334 MWh
Relação de potência activa	88,9 %	Autoconsumo	109,13 MWh
Rendimento energético anual	137,59 MWh	Quota de autoconsumo	79,3 %
Factor de utilização da energia	99,9 %	Taxa de autonomia (em % do consumo de energia)	32,7 %

Figura 8.56: Projeto final

Através da figura 8.57 pode-se observar que dos 334MWh que a escola consome de energia, com a instalação de painéis fotovoltaicos para a realização do autoconsumo consegue-se uma poupança de consumo de energia de 109MWh, ou seja, 32,7%.

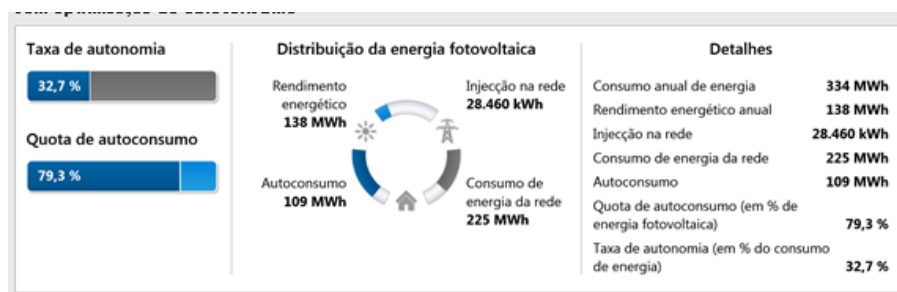


Figura 8.57: Consumo de energia com autoconsumo

Em seguida é apresentados o gráfico da produção mensal estimada (kWh) 8.58 para uma análise mais fácil e intuitiva.

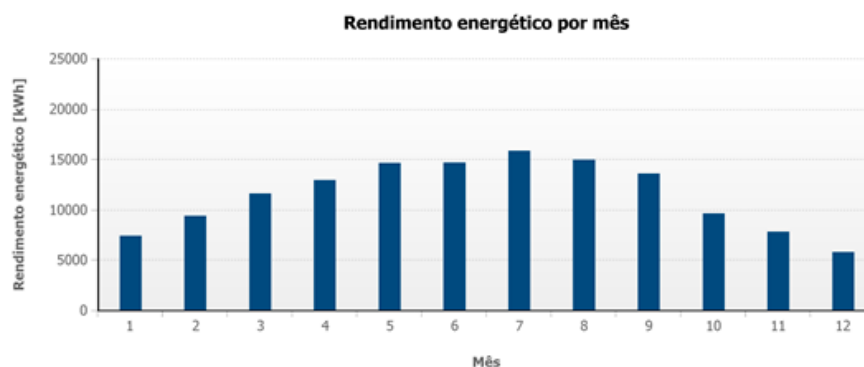


Figura 8.58: Produção Mensal estimada dos painéis em kWh

Como podemos observar na tabela 8.23 os maiores valores de irradiação nos módulos fotovoltaicos registam-se nos meses de Junho, Julho e Agosto, isto porque para além de existirem mais horas de sol este também se encontra numa posição mais alta e isso é benéfico em termos de incidência nos painéis. Isso reflete-se nos valores da produção global que têm uma forte relação

Tabela 8.23: Análise do consumo anual

Mês	Produção Mensal[kWh]	Autoconsumo[kWh]	Inj. Rede[kWh]	Cons. Energia da Rede[kWh]
Janeiro	7.364	6.256	1.108	27.751
Fevereiro	9.311	7.741	1.570	22.085
Março	11.562	9.236	2.327	21.673
Abril	12.888	10.036	2.852	16.106
Maio	14.587	11.255	3.331	14.907
Junho	14.614	11.439	3.175	11.273
Julho	15.794	11.750	4.040	11.922
Agosto	14.873	12.019	2.854	12.483
Setembro	13.507	10.062	3.445	13.502
Outubro	9.565	7.734	1.834	20.574
Novembro	7.768	6.405	1.363	26.208
Dezembro	5.757	5.195	561	26.512

com os valores da irradiação e por isso existe também uma maior produção global nos meses de Junho, Julho e Agosto.

Nesta imagem 8.59 podemos observar a relação do consumo com a produção de energia fotovoltaica tanto nos piores, como nos melhores dias. Observa-se que o valor de potência injetada é reduzido, que era o pretendido. No melhor dia de rendimento, o autoconsumo consegue produzir praticamente toda a energia que é necessária para o funcionamento da escola.

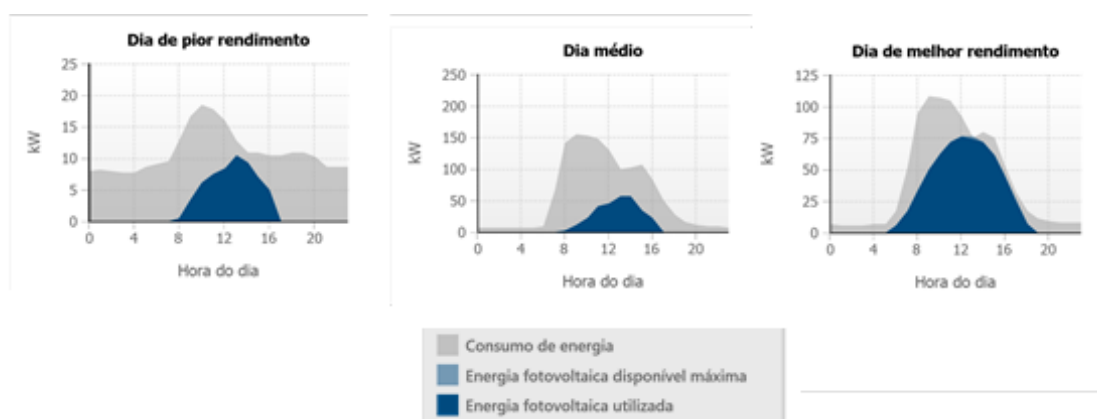


Figura 8.59: Produção Mensal dos painéis em kWh

Posto isto, vamos analisar o valor de pagamento anual para cada uma das situações 8.60. Podemos verificar que sem sistema fotovoltaico o preço anual a pagar é de 36754 euros, sendo que com a instalação do sistema reduz para 24749 euros anuais. Sendo assim, é possível então calcular o valor do lucro anual que corresponde à diferença entre o valor da fatura sem UPAC com o valor anterior. Este lucro corresponde a 12005 euros/ano.

Como sabemos as tarifas têm aumentado anualmente de preço. Fez-se um estudo de modo a ser possível estimar o valor do preço da energia nos próximos 20 anos, que é o tempo de vida útil dos componentes do sistema fotovoltaico. Na imagem podemos observar a evolução do preço

### Comparação custos anuais electricid.

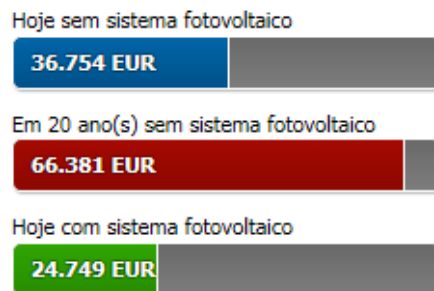


Figura 8.60: Comparação de custos com Upac e sem Upac

do kWh entre 2010 e 2016. Verificamos que a menor evolução do preço da tarifa decorreu no ano corrente, sendo que essa evolução foi de 2,5%. A subida mais significativa ocorreu no ano de 2012, de 4%. Realizou-se um gráfico 8.61 de modo a ser possível determinar uma média da taxa de encarecimento de eletricidade.

Após a análise do gráfico 8.61 verificamos que a média de encarecimento de eletricidade nos últimos anos foi de 3,20%. Assumiu-se que nos próximos 20 anos a taxa de encarecimento será de 3%. Sendo assim, preve-se que daqui a 20 anos o valor a pagar pelo mesmo consumo que é utilizado atualmente será de 66381 euros.

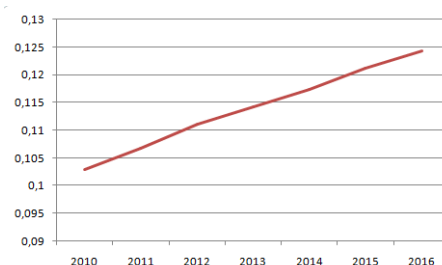


Figura 8.61: Crescimento do valor da eletricidade em kWh

### 8.3.8 Lucro e Payback

Realizando uma análise aos custos inerentes à instalação do sistema e sabendo, como anteriormente apresentado, o lucro anual obtido com a instalação do mesmo, torna-se possível obter uma estimativa das mais-valias resultantes da implementação do projeto. Para isso foi considerado, de forma a simplificar os cálculos, que não foi concedido nenhum empréstimo bancário para cobrir os 95123.00 euros necessários para a instalação do projeto e que o projeto apresentava um período de vida útil de 20 anos, tendo-se obtido os resultados que se apresentam na tabela seguinte 8.24

Através da tabela anterior e da imagem 8.62 facilmente se conclui que a central é um excelente investimento, tendo um período estimado de payback em cerca de 7,1 anos o que corresponde



Tabela 8.24: Análise dos cash-flows correspondentes ao período de vida útil do projeto

Início do Ano	Lucro Anual	Saldo
0	0	-95.193
1	12.005	-82.827
2	12.365	-70.091
3	12.736	-56.973
4	13.118	-43.461
5	13.511	-29.544
6	13.917	-15.210
7	14.334	-445
8	14.764	14.762
9	15.207	30.425
10	15.663	46.559
11	16.133	63.177
12	16.617	80.293
13	17.116	97.923
14	17.629	116.082
15	18.158	134.785
16	18.703	154.049
17	19.264	173.892
18	19.842	194.330
19	20.437	215.380
20	21.050	237.063

apenas a metade do seu período de vida útil e apresentando um lucro ao fim do seu tempo esperado de vida superior a 230 mil euros. Com base na média atual, os componentes funcionarão até um período de vida máximo de 25 anos, ou seja, ainda por mais cinco anos o lucro será ainda maior mesmo não considerando custos de manutenção.

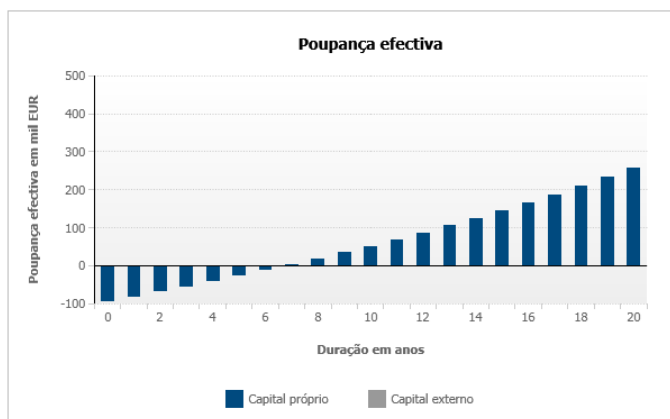


Figura 8.62: Gráfico que demonstra o lucro obtido

## 8.4 Projeto Fotovoltaico de Pequena Produção (UPP)

Consiste na produção de energia eléctrica através de instalações de painéis fotovoltaicos que captam a energia do Sol e a convertem em energia eléctrica, criando a sua própria energia e injeção

da totalidade da energia elétrica à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). A energia produzida é vendida à rede, em que a tarifa é atribuída num modelo de licitação no qual os concorrentes oferecem desconto à tarifa de referência, sendo que o valor de venda da energia será sempre inferior ao valor máximo, que é de 0,095 euros/kWh. O preço de compra da eletricidade é de 0,11 euros/KWh.

Tal como no AutoConsumo, as UPP são reguladas pelo Decreto-Lei nº153/2014 de 20 de Outubro de 2014 que estabelece restrições para o dimensionamento deste tipo de produção fotovoltaica. É necessário ter em atenção as seguintes condições:

- Potência de ligação será menor ou igual a 100% da potência contratada na instalação de consumo, até uma potência de ligação máxima de 250kW;
- Energia consumida na instalação de consumo deve ser igual ou superior a 50% da energia produzida. Venda da totalidade da energia ao Comercializador de Último Recurso.

O dimensionamento das UPP neste caso de estudo cumpre com as duas condições necessárias.

Visto que o projeto de instalação e dimensionamento das UPP seguirem os mesmos passos que o projeto de AutoConsumo, os valores de dimensionamento serão os mesmos pelo que será apresentado de seguida a análise da rentabilidade obtida para este investimento.

#### 8.4.0.1 Análise da Rentabilidade obtida

O investimento inicial para este projeto é de 95.193 euros. O lucro resultante da injeção na rede após os 20 anos é de 218.121 euros, pelo que ao fim do seu período de vida útil consegue-se obter um lucro de 123000 euros. O período de amortização previsto é de 9 anos.

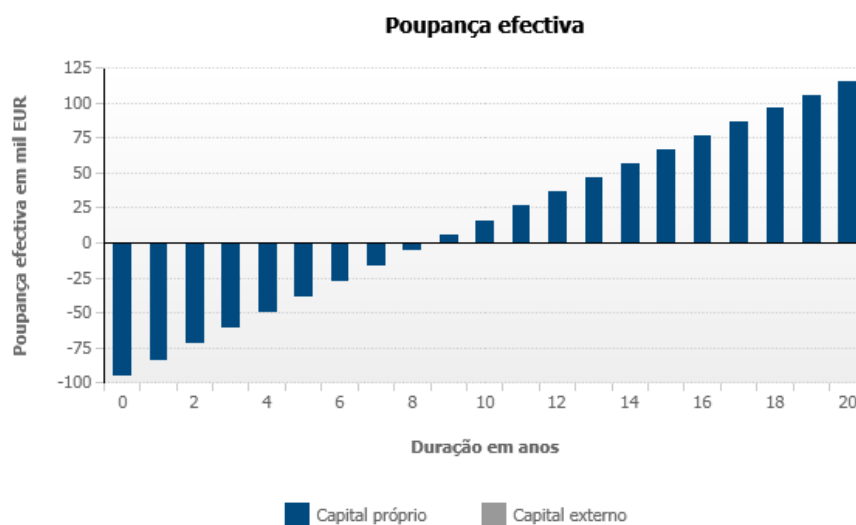


Figura 8.63: Gráfico que demonstra o lucro obtido

Esta solução é viável, não apresenta um tempo de retorno muito elevado e permite obter lucro durante os seus 20 anos de funcionamento.

#### 8.4.1 Comparação entre os dois sistemas fotovoltaicos desenvolvidos

Nesta seção irá ser realizada uma breve comparação entre a instalação de UPAC e UPP de modo a determinar qual será o ideal a instalar na Escola Secundária Fontes Pereira de Melo.

Através da análise da tabela 8.25 observamos que apesar de o investimento ser igual nas duas instalações, o lucro obtido ao fim de 20 anos é bastante díspar. Enquanto que na instalação de uma UPP obtemos um lucro de 123000 euros, através da instalação da UPAC é possível praticamente dobrar o lucro obtido. Outra das vantagens da UPAC é o seu reduzido tempo de retorno, a rondar os 7 anos, enquanto que na UPP são necessários mais 2 anos de modo a ser possível começar a rentabilizar o investimento. Sendo assim, é aconselhável a instalação de painéis solares fotovoltaicos destinados ao autoconsumo.

Tabela 8.25: Comparação entre os dois sistemas fotovoltaicos desenvolvidos

	UPAC	UPP
Investimento (euros)	95.123	95.123
Lucro (euros)	237.000	123.000
Tempo de Retorno (anos)	7,1	9

#### 8.4.2 Manutenção

De modo a ser possível aproveitar o máximo de proveito dos sistemas fotovoltaicos, é necessário, para além das recomendações que se devem ter, em termos de boas práticas de funcionamento, é necessário também ter em conta a manutenção dos mesmos.

Os painéis fotovoltaicos estão colocados no exterior, estando expostos a todo o tipo de sujidade sendo por isso necessário uma manutenção cuidada quanto à sujidade na superfície. No caso da instalação estudada para a Escola Fontes Pereira de Melo, os painéis são instalados na cobertura do telhado com uma inclinação de 36 graus contribuindo para uma boa solução em termos de limpeza uma vez que a sujidade que ali se encontra tenderá a atingir o solo. No entanto, apesar da sua inclinação, nada garante que toda a sujidade presente na superfície do painel seja nula, logo é preciso evitar a acumulação da sujidade pois interfere na eficiência do sistema fotovoltaico.

Outro fator a ter em conta é o ângulo de inclinação dos painéis. É necessário verificar periodicamente o ângulo uma vez que é comum que devido à força do vento ou do desgaste da estrutura sofrerem pequenos desvios no ângulo instalado, impedindo desta forma o aproveitamento máximo de radiação incidente na sua superfície.

É necessário também ter em conta a colocação de obstáculos futuros uma vez que estes podem originar sombreamento na superfície do painel.

Por fim deve-se verificar periodicamente se as ligações elétricas se encontram bem ajustadas ou se existe algum sinal de oxidação, sendo que esta verificação é muito importante do ponto de vista a evitar perigos futuros que daí possam surgir.

## **8.5 Sistemas de AVAC**

Neste momento a escola esta a utilizar o método de custo mínimo. Os set-point e os controlos dos sistemas estão desligados, sendo que quando é necessário ligar um dos equipamentos é realizado manualmente. Irei realizar duas abordagens. Na primeira será abordado o estudo de todos os equipamentos existentes, atuando na situação atual. Após isso iremos analisar o período de funcionamento e set-points de cada equipamento caso funcionassem consoante a programação existente.

### **8.5.1 Situação Atual**

#### **Caldeiras**

As caldeiras são o único equipamento na escola que não é elétrico, sendo o seu funcionamento a gás. São destinadas à preparação da água quente a distribuir para os diversos equipamentos existentes para aquecimento das águas quentes sanitárias e também dos ambientes dos diversos espaços.

Na escola existem um conjunto de 6 caldeiras. Três delas têm uma potência de 120kW para funcionamento a 80/60°C do tipo Power HT 120. Existem também uma caldeira Power Ht 150 e uma Bios 45F.

#### **RoofTops**

Nesta escola existem 2 rooftops. Estes equipamentos são elétricos e têm como função aquecer ou arrefecer o ar. Têm ventiladores incorporados na máquina e estão conetados a uma rede de condutas que faz a distribuição do ar pelos espaços. As rooftops estão destinadas apenas ao auditório e ao polivalente. Encontram-se sempre desligadas e só serão acionadas caso exista utilização do auditório durante no máximo 2 horas.

#### **UTANS**

As unidades de tratamento de ar novo são responsáveis pela circulação e renovação do ar novo. Estão ligados a redes de condutas. Têm incorporadas uma bateria de água, onde passa o ar para ser tratado e que será colocado à temperatura pretendida.

A verificação efetuada permitiu concluir que as baterias inseridas nas UTANS se encontra desligada, pelo que neste momento as UTANS só têm como funcionamento a ventilação dos espaços que lhe são destinados. Esta escola possui 22 UTANS. Estão distribuídas da seguinte forma:

- 5 no bloco A1
- 5 no bloco A2



Figura 8.64: Rooftop existente na escola

- 5 no bloco A3
- 1 no bloco A4
- 5 no bloco A5
- 1 no bloco A6



Figura 8.65: Utans existente na escola

### **UTAS**

Tem o mesmo princípio de funcionamento das unidades de tratamento de ar novo. Nesta escola apenas existe 1 Unidade de tratamento de Ar e é destinada somente à cozinha.

### **VRV**

Este equipamento funciona pelo mesmo princípio das rooftops. É um equipamento elétrico e apresenta um ótimo rendimento. Encontra-se ligado a um ventiloconvetor que é uma unidade interior.

Neste tipo de equipamento só é possível fazer 1 regime para toda a escola ao mesmo tempo. Se tiver a fazer arrefecimento num espaço, irá ter esse funcionamento em toda a escola. Aplica-se o mesmo princípio caso esteja a fazer aquecimento. Podemos encontrar 7 VRV e estão destinados apenas para o edifício A5, mais precisamente para a biblioteca e parte administrativa.

Neste momento também se encontram a funcionar manualmente.



Figura 8.66: VRV existente na escola

### **Chiller**

Destinado à preparação da água refrigerada a distribuir aos diversos equipamentos centralizados para arrefecimento o ambiente.



Figura 8.67: Chiller existente na escola

### 8.5.2 Setpoints

Todos os equipamentos descritos anteriormente foram estudados e definidos de forma a terem a maior eficiência e rendimento para os diferentes espaços existentes na escola.

Nesta secção iremos estudar tanto os setpoints existentes nos equipamentos como a sua programação em termos de horários de funcionamento pre-definida.

**Rooftops** - não apresentam uma programação definida em termos de horário de funcionamento devido ao facto de estarem destinados a espaços em que a sua utilização é irregular. No caso do auditório é utilizado cerca de 3x por mês. Em relação aos setpoints da temperatura, estão definidos para 21°C no Inverno e 24°C no verão. Para obter uma melhoria na eficiência energética propõe-se alterar a temperatura programada através da redução de 1°C tanto no Inverno como no Verão, pois por exemplo, nesta época do ano ( Verão) 23°C são suficientes para permitir o conforto térmico. A utilização de setpoints excessivos proporciona um maior funcionamento dos equipamentos, que se reflete num aumento do preço da fatura elétrica.

**UTANS** - Através da análise do controlo horário deste equipamento pudemos verificar que este equipamento está programado para funcionar interruptamente entre as 8h30 e as 18h30. Este período de funcionamento coincide com o horário de maior utilização da escola.

**VRV** - Este equipamento apresenta o mesmo horário de funcionamento das UTANS, ou seja, funciona interruptamente durante 10 horas.

Uma das soluções a propor para os equipamentos de Utans e Vrv seria alterar o seu horário de funcionamento, reduzindo o seu período de funcionamento. Em vez de funcionarem interruptamente entre as 8h30 e as 18h30, é sugerido funcionarem por intervalos de tempo. Começar o funcionamento as 8h30 e trabalharem em blocos de 2h, sendo desligadas durante 30 minutos após essas 2 horas de funcionamento. Esta medida iria proporcionar uma redução de 2 horas diárias no funcionamento destes equipamentos.

**UTAS** - Como está destinada só ao espaço da cozinha, so funciona durante 3 horas, entre as 11h30 e as 14h30, período de funcionamento da cozinha e refeitório.

**Caldeiras** - As três caldeiras existentes de 120kW são utilizadas para o aquecimento do edifício através das Utans. As Caldeiras operam em regime contínuo e têm um setpoint definido para 75°C e o seu controlo é realizado através da leitura da temperatura nos depósitos que estão regulados para cerca de 65°C. Desta forma as caldeiras arrancam sempre mediante a solicitação por parte dos depósitos ou seja quando baixa a temperatura dos mesmos.

As restantes caldeiras tem o setpoint definido para 40°C.





## Capítulo 9

# Conclusões e Trabalho Futuro

A realização desta dissertação teve como objetivo minimizar os custos associados ao consumo desnecessário de energia. As soluções propostas tiveram em atenção as atuais responsabilidades ambientais, proporcionando que a Escola Secundária Fontes Pereira de Melo reduza o consumo de energia adoptando uma política sustentável.

### Faturação energética

No capítulo da faturação energética foi possível verificar que com os atuais consumos de energia eléctrica, a opção tarifária existente não é a mais aconselhada. Através da comparação do tarifário atual com o das outras empresas fornecedoras para as quais foi possível verificar as tarifas, chegamos à conclusão que a troca da empresa atual pelo tarifário sugerido pela Endesa permitiria uma redução do preço efetivo de aquisição de energia eléctrica. Com esta modificação de tarifário seria possível reduzir a fatura de eletricidade em 6% (cerca de 2.200 euros).

### Iluminação

Verificou-se que os sistemas de iluminação são uma área onde a utilização de equipamentos mais eficientes traduz reduções significativas de consumos energéticos. Neste capítulo o primeiro estudo realizado consistiu na redução de potência das lâmpadas existentes, nos espaços que excediam em 20% o valor de referência. Através de um investimento de 3.782,50 euros foi possível obter, através das medidas propostas, uma poupança anual no valor de 2.631,53 euros, com um tempo de retorno bastante reduzido de apenas 1 ano e 5 meses. Também se verificou que é viável a instalação de sensores de presença nesta escola, o que proporcionaria uma poupança anual de 241,79 euros. Evidentemente que esta proposta implica um investimento, que é reduzido, proporcionando um retorno ao fim do primeiro mês do segundo ano.

Da mesma forma foi realizado um segundo estudo que consistiu na substituição do sistema de iluminação existente, sendo implementado Leds devido à sua maior economia energética. Só que devido ao seu elevado custo levaria a um tempo de retorno muito elevado logo esta solução não se tornou viável. A implementação de sensores crepusculares não se tornou viável devido às

caraterísticas existentes na escola.

### Projeto Fotovoltaico

O projeto fotovoltaico foi o estudo mais exigente desta dissertação, uma vez que foi feito de raiz, devido à instalação não possuir previamente nenhum tipo de equipamento. Foi necessário compreender as caraterísticas da escola, de modo a decidir onde seria possível instalar os módulos fotovoltaicos.

Foram executados dois estudos. O primeiro consistiu na instalação de painéis fotovoltaicos com o objetivos de produzir e utilizar a energia que fosse criada. Foram instalados 360 painéis e foi possível concluir que existe viabilidade para o projeto, uma vez que cumpre com a legislação e apesar do investimento ser alto (cerca de 95.000 euros), tem um tempo de retorno bastante reduzido e que pode proporcionar um lucro de 240.000 euros passados 20 anos.

Após isso foi analisado a instalação de painéis fotovoltaicos mas com o objetivo de produzir energia e vender essa mesma energia à rede. Verificou-se que o projeto também é viável, mas o seu tempo de retorno é superior ao estudo anterior, pelo que deve-se optar pelo autoconsumo.

### Sistema AVAC

Em relação ao Avac verificou-se que a escola neste momento apenas utiliza os serviços mínimos de modo a ser possível reduzir custos, pelo que não foi possível determinar uma medida eficiente a propor.

Considera-se importante reiterar que as medidas propostas ao longo desta dissertação promovem uma redução do consumo de energia no edifício, assim como comportamentos e escolhas de boas práticas para a eficiência energética. Estas medidas podem ser adotadas em outros edifícios semelhantes.

### Resultados Finais

Na tabela 9.1 está apresentado o resumo e conclusão final dos investimentos e poupanças consequentes de cada área estudada:

Tabela 9.1: Investimentos e Poupanças das áreas de atuação

Area Atuação	Investimento (euros)	Lucro Imediato Anual (E)	Lucro em 20 anos (E)
Iluminação EDP	3.782,5	2.631,53	
Iluminação Endesa	3.782,5	3.026,61	
Sensores	503,91	241,79	
Tarifas	0	2.196,95	
UPAC	95.123,00		237.000,00
UPP	95.123,00		123.000,00

Considera-se que os objetivos inicialmente propostos foram claramente atingidos, nomeadamente na análise da eficiência energética de um edifício escolar, através de estudos no Dialux, da

análise da fatura energética, dos equipamentos AVAC e da instalação de um projeto fotovoltaico.

### **Trabalho Futuro**

Após a realização desta dissertação, pode-se verificar que ainda existem algumas áreas que, tendo por base este trabalho, são possíveis de ser desenvolvidas em futuros trabalhos como por exemplo o estudo da componente da faturação da energia reativa com o objetivo de anular este valor que é pago mensalmente na fatura. Este valor é residual, cerca de 10 euros mensais, mas como o objetivo desta dissertação é a análise da eficiência energética, o objetivo é reduzir ao máximo o custo apresentado na fatura.

:



# Anexo A

## Anexo1

### A.1 Iluminação

 Instalações de Obras	 desconhecida Digitally signed by LABMETRO ONLINE Date: 2016.04.18 12:48:00 +01:00 Reason: Documento aprovado electronicamente	 Laboratório de Calibração em Metrologia Electro-Física <b>Certificado de Calibração</b>	 acreditação MEL-99 Calibração					
Data de Emissão		2016-04-15	Certificado nº.	COPT350/16	Página	1	de	3
Equipamento:	Luxímetro		Nº ident.:		---			
	Marca:	Tenmars	Nº série:		030605149			
	Modelo:	DL-201						
	Indicação:	Digital						
Cliente	Manvia - Manutenção e Exploração de Instalações e Construção S.A. Rua Mário Dionísio, 2 2796-957 Linda-A-Velha							
Data de Calibração	2016-04-15							
Condições Ambientais	Temperatura:	23,0 °C	Humidade relativa:	58,0 %				
Procedimento	PO.M-DM/OPT 01 (Ed. E).							
Rastreabilidade	Iluminância, Fonte de Radiação OL 462, Luxímetro Padrão LO003/LO004, rastreados ao NPL, Inglaterra.							
Estado do equipamento	Não foram identificados aspectos relevantes que afectassem os resultados.							
Resultados	Encontram-se apresentados na(s) página(s) seguinte(s). A incerteza expandida apresentada, está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão k=2, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de expansão de, aproximadamente, 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-4/02.							

Grupo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA-MLA and ILAC-MRA for testing, calibration and inspection making authorization for export of the ISQ. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Figura A.1: Certificado de calibração do luxímetro - pag.1



Laboratório de Calibração em  
Metrologia Electro-Física  
**Certificado de Calibração**

IPAC 39  
Calibração

n.º COPT350/16

Página 2 de 3

#### Método de calibração

A calibração de luxímetros é realizada num banco fotométrico por comparação com um detector de referência, usando uma fonte de radiação com uma lâmpada de incandescência com filamento de tungsténio em atmosfera gasosa com temperatura de cor de 2856K (Iluminante A da CIE), que produz níveis de iluminância, com incidência normal sobre a superfície do detector.

#### Resultados obtidos

Os resultados obtidos são apresentados na tabela seguinte.

Da tabela resultaram os gráficos representados nas folhas seguintes. Em abscissas apresentam-se os valores correctos de Iluminância (Valor padrão), e em ordenadas, os valores medidos com o Luxímetro. Para uma mais fácil e melhor compreensão destes resultados, representa-se também a recta de resposta ideal (45º).

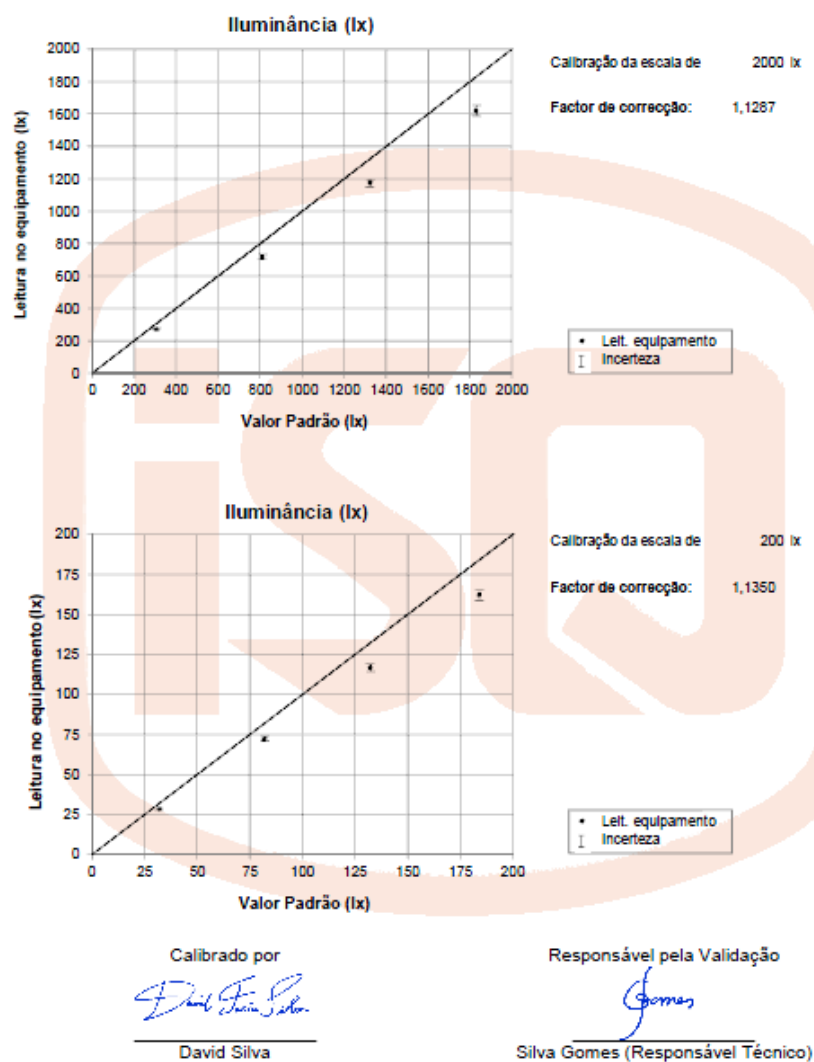
Os valores correctos obtêm-se multiplicando o factor de correcção pela leitura no equipamento.

#### Iluminância

Escala de medição	Valor de referência	Valor do equipamento	Erro	Incerteza Expandida
2000 lx	305,5 lx	271 lx	-11,4 %	± 1,6 %
	811,3 lx	719 lx	-11,4 %	± 1,5 %
	1325 lx	1174 lx	-11,4 %	± 1,5 %
	1830 lx	1621 lx	-11,4 %	± 1,5 %
200 lx	32,11 lx	28,3 lx	-11,9 %	± 1,5 %
	82,02 lx	72,3 lx	-11,9 %	± 1,5 %
	132,3 lx	116,6 lx	-11,9 %	± 1,5 %
	184,0 lx	162,1 lx	-11,9 %	± 1,5 %

O Instituto Português de Acreditação (IPAC) é o signatário do EA-MEA e da ILAC-MRA para testes, calibração e inspeção exceto quando autorizado por escrito do IPAC. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Figura A.2: Certificado de calibração do luxímetro - pag.2



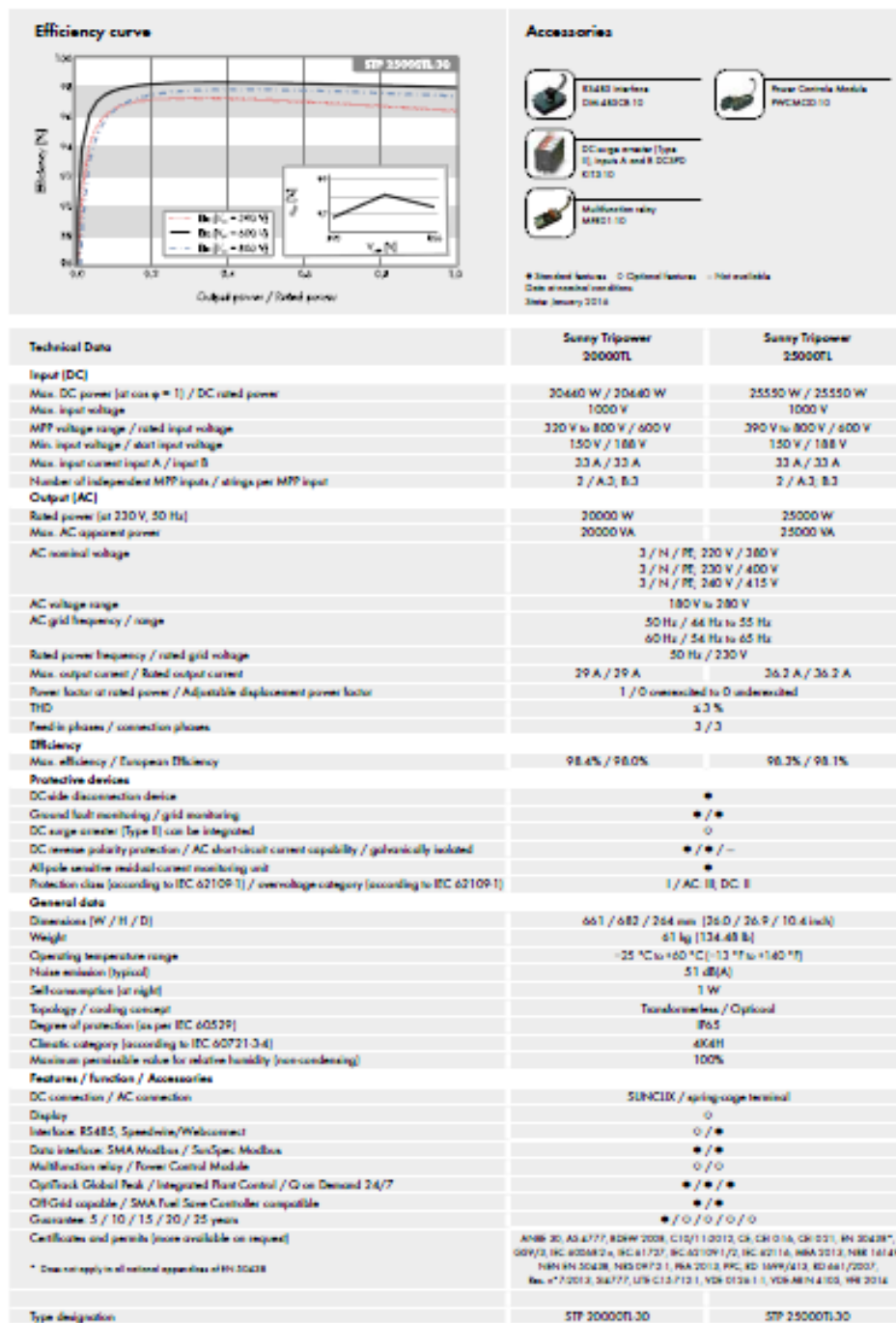
DM/064-2/07

O IPAC é signatário do Acordo de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC para ensaios, calibrações e inspeções. IPAC is a signatory to the EA MCA and ILAC MRA for testing, calibration and inspection. This document may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of IPAC.

Figura A.3: Certificado de calibração do luxímetro - pag.3







DESIGNAÇÃO DO ESPAÇO (PE)	DESIGNAÇÃO NA NORMA / PONTO DA NORMA	NÍVEL MÉDIO DE ILLUMIN. (LUX)	UGR
SALA DE AULA NORMAL	CLASSROOM / 6.2.1	300	19
QUADRO DO PROFESSOR	BLACK BOARD / 6.2.4	500	19
SALA DE AULA NORMAL COM UTILIZAÇÃO NOCTURNA E PARA FORMAÇÃO DE ADULTOS	CLASSROOM FOR EVENING CLASSES AND ADULTS EDUCATION / 6.2.2	500	19
SALA DE AULA TIC	COMPUTER PRACTICE ROOMS / 6.2.13	300	19
SALA DE DESENHO NORMAL	ART ROOMS / 6.2.6	500	19
SALA DE DESENHO TÉCNICO	TECHNICAL DRAWING ROOMS / 6.2.8	750	15
SALAS DE ARTES NUMA ESCOLA DE ARTES	ART ROOMS IN ART SCHOOLS / 6.2.7	750	19
OFICINA E LABORATÓRIO (FÍSICA, QUÍMICA, LÍNGUAS, ETC.)	PRATICAL ROOMS AND LABORATORIES / 6.2.9	500	19
SALA DE PREPARAÇÃO DO LABORATÓRIO	PREPARATION ROOMS AND WORKSHOPS / 6.2.15	500	22
EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA	-	(1) 500	19
ESTÚDIO DE MULTIMÉDIA	-	(2) 300	19
SALAS DE APOIO AOS ESTUDANTES SEM A PRESENÇA DE DOCENTES	-	(2) 300	19
ÁREA DESTINADA A TRABALHO DE DOCENTES	-	(1) 500	19
ÁREAS DESTINADAS AO ENSINO-APRENDIZAGEM INFORMAL	-	(3) 300	19
ÁREA DE ACTIVIDADES LECTIVAS COMPLEMENTARES ("CLUBES") E A EXIBIÇÃO DE TRABALHOS / CONTEÚDOS DIDÁCTICOS	STUDENT COMMON ROOMS AND ASSEMBLY HALLS / 6.2.19	200	22
ÁREAS ADMINISTRATIVAS, GABINETES DE ATENDIMENTOS OU NÃO, SALAS DE REUNIÕES	WRITING, TYPING, READING, DATA PROCESSING / 3.2	500	19
GABINETE DE PSICOLOGIA, POSTO DE PRIMEIROS SOCORROS	ROOMS FOR MEDICAL ATTENTION / 1.2.6	500	19
REPROGRAFIA	FILING, COPYIN, ETC. / 3.1	300	19
BIBLIOTECA / ZONA DE PRATELEIRAS	BOOKSHELVES / 6.2.21	200	19
BIBLIOTECA / ZONA DE LEITURA	READING AREAS / 6.2.22	500	19
ESPAÇO POLIVALENTE	-	(4) 500	19
AUDITÓRIO	CONFERENCE AND MEETING ROOMS / 3.5	(4) 500	19
SALA DE EXPOSIÇÕES / ESPAÇOS MUSEOLÓGICOS	-	(4) 500	19
GINÁSIO	SPORTS HALLS, GYMNASIUMS, SWIMMING POOLS (GENERAL USE) / 6.2.24	300	22
POLIDESPORTIVO COBERTO	SPORTS HALLS, GYMNASIUMS, SWIMMING POOLS (GENERAL USE) / 6.2.24	IN 12193	-

Figura A.6: Níveis de iluminação médio

DESIGNAÇÃO DO ESPAÇO (PE)	DESIGNAÇÃO NA NORMA / PONTO DA NORMA	NÍVEL MÉDIO DE ILUMIN. (LUX)	UGR
BALNEÁRIOS E CASAS DE BANHO	CLOAKROOMS, WASHROOMS, BATHROOMS, TOILETS / 1.2.4	200	25
ENTRADA / RECEPÇÃO	ENTRANCE HALLS / 6.2.16	200	22
ZONAS DE CIRCULAÇÃO, CORREDORES	CIRCULATION AREAS, CORRIDORS / 6.2.17	100	25
ESCADAS	STAIRS / 6.2.18	150	25
LOJA DE CONVENIÊNCIA DO ESTUDANTE	SALES AREA / 4.3	300	22
ÁREAS SOCIAIS E DE CONVÍVIO	STUDENT COMMON ROOMS AND ASSEMBLY HALLS / 5.2.19	200	22
ARRECADAÇÕES	STOCK ROOMS FOR TEACHING MATERIALS / 6.2.23	100	25
ARQUIVO	ARCHIVES / 3.7	200	25
REFEITÓRIO E CAFETARIA	SCHOOL CANTEENS / 6.2.25	200	22
COZINHA	KITCHEN / 6.2.26	500	22

Figura A.7: Níveis de iluminação média



## **Anexo B**

## **Anexo2**

### **B.1 Tarifas**



### 3. Preços

Os preços a praticar pela ENDESA são os que constam das tabelas abaixo, aplicados aos consumos de energia activa efectivamente apurados, em função do Ciclo de Contagem em causa e respectivos Períodos Horários:

Nível de Tensão	Ciclo de Contagem	Coeficiente de Energia Activa + Componentes Regulados por Período Horário (€/MWh)			
		(P1) Ponta	(P2) Cheia	(P3) Vazio Normal	(P4) Super Vazio
MT	Semanal	104,447	92,615	68,435	62,605

Tabela 1. Preços do fornecimento com discriminação horária para 2016

Componentes de Potência, conforme tabela abaixo:

Nível de Tensão	Potência Contratada (€/kW.dia)	Potência em Horas de Ponta (€/kW.dia)
MT	0,0320	0,2263

Tabela 2. Coeficientes de Potência para 2016

- Os conceitos Potência Contratada e Potência em Horas de Ponta serão facturados de acordo com os regulamentos em vigor.

- Sempre que ocorram consumos de energia reactiva susceptíveis de facturação, os pagamentos a realizar pelo CLIENTE serão acrescidos do montante resultante da facturação emitida pelo Operador da Rede de Distribuição relativa àquele consumo de energia reactiva, de acordo com o Regulamento Tarifário em vigor a cada momento.

Os preços propostos têm por base as mais recentes tarifas de acesso em vigor para o ano de 2016, publicadas pela ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) na Diretiva nº14/2015 de 15 de Dezembro de 2015. Os preços serão revistos em qualquer ocasião ao longo do período do fornecimento, sempre que ocorram alterações às Tarifas de Acesso publicadas pela ERSE que serviram de base à elaboração da presente proposta, fazendo-se reflectir os diferenciais resultantes dessas alterações, quer em alta, quer em baixa, directamente aos diversos coeficientes.

Todos os preços e complementos apresentados nesta proposta incluem o custo da Energia, Tarifas de Acesso, Perdas e Desvios de Consumo, não acrescentando qualquer outro custo, excepto impostos.

Figura B.1: Proposta de venda de energia da empresa Endesa

EOP														
Tarifa de Lanqar utilizag�or				Tarifa de M�dior utilizag�or				Tarifa de Cortar utilizag�or						
Valor Unit�rio	kwh	* mora	Total	Valor Unit�rio	kwh	* mora	Total	Valor Unit�rio	kwh	* mora	Total			
Horar de Ponta	0,1397	706,91,34	1	9,875,581	0,1487	706,91,34	1	10,511,801	0,2135	706,91,34	1	15,092,601		
Horar Chojar	0,1096	1822,94,29	1	19,979,451	0,1108	1822,94,29	1	20,198,211	0,1191	1822,94,29	1	21,711,551		
Horar de Vaziar normal	0,0784	52196,31	1	4,092,191	0,0308	52196,31	1	4,217,461	0,0815	52196,31	1	4,254,001		
Horar de Super Vaziar	0,072	28941,55	1	2,082,791	0,072	28941,55	1	2,082,791	0,0758	28941,55	1	2,193,771		
P�st�cia	(Unit�rio)	ku	* mora	Total	(Unit�rio)	ku	* mora	Total	(Unit�rio)	ku	* mora	Total		
Horar de Ponta	10,157	0,3323	864,727	1	8,782,021	10,226	0,3356	864,727	1	8,851,351	12,996,851			
Contratada	1,552	0,0509	1947,66	1	3,022,771	1,461	0,0479	1947,66	1	2,845,531	1,215,341			
Terminar Verfic�ria fixa	0,001	334123	1	334,123	0,001	334123	1	334,123	0,001	334123	1	334,121		
Energia Reativa	0,0208	5749	1	119,5792	0,0208	5749	1	119,5792	0,0208	5749	1	119,581		
Isa 232	0,001			0,001			0,001							
Total Futura	48,290,521			49,161,341			57,917,511							
Energia Ativa														
Energia Ativa														
Valor Unit�rio	kwh	* mora	Total											
Horar de Ponta	0,1044	706,91,34	1	7,380,181										
Horar Chojar	0,0926	1822,94,29	1	16,880,451										
Horar de Vaziar normal	0,0684	52196,31	1	3,570,231										
Horar de Super Vaziar	0,0626	28941,55	1	1,811,741										
P�st�cia	(Unit�rio)	ku	* mora	Total										
Horar de Ponta	6,789	0,2263	864,727	1	5,870,631									
Contratada	0,96	0,032	1947,66	1	1,889,751									
Terminar Verfic�ria fixa	0,001	334123	1	334,121										
Energia Reativa	0,0208	5749	1	119,581										
Isa 232	0,001			P�p�aga										
Total Futura	37,836,681			-2,196,951										
Energia Ativa														
Energia Ativa														
Valor Unit�rio	kwh	* mora	Total											
Horar de Ponta	0,0999	706,91,34	1	7,062,061										
Horar Chojar	0,0930	1822,94,29	1	16,952,371										
Horar de Vaziar normal	0,0696	52196,31	1	3,632,861										
Horar de Super Vaziar	0,0638	28941,55	1	1,846,471										
P�st�cia	(Unit�rio)	ku	* mora	Total										
Horar de Ponta	8,825	0,2945	864,727	1	7,629,861									
Contratada	1,044	0,0348	1947,66	1	2,032,361									
Terminar Verfic�ria fixa	0,001	334123	1	334,121										
Energia Reativa	0,0208	5749	1	119,581										
Isa 232	0,001			P�p�aga										
Total Futura	39,502,111			-531,521										
Energia Ativa														
Energia Ativa														
Valor Unit�rio	kwh	* mora	Total											
Horar de Ponta	0,1038	706,91,34	1	76,91,2										
Horar Chojar	0,1	1822,94,29	1	1822,9										
Horar de Vaziar normal	0,0718	52196,31	1	3747,7										
Horar de Super Vaziar	0,0705	28941,55	1	2040,4										
P�st�cia	(Unit�rio)	ku	* mora	Total										
Horar de Ponta	6,902	0,23	864,727	1	596,8,3									
Contratada	0,977	0,0326	1947,66	1	1902,9									
Terminar Verfic�ria f	0,001	334123	1	334,12										
Energia Reativas	0,0208	5749	1	119,58										
Isa 232	0													
Total Futura	40034													

Figura B.2: Resultados dos calculos efetuados





**Anexo C**

**Anexo3**

**ROCA**  
SAXI GROUP

POWER HT

MELHORAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA É UMA DAS GRANDES METAS DA NOSSA SOCIEDADE NO SÉCULO XXI. A GAMA POWER HT, BASEADA NA TECNOLOGIA DA CONDENSAÇÃO É UM DOS CONTRIBUTOS DA ROCA PARA ESTE GRANDE OBJECTIVO DE TODOS



**GAMA**

POWER HT-85  
85 kW. Só aquecimento.

POWER HT-100  
100 kW. Só aquecimento.

POWER HT-120  
120 kW. Só aquecimento.

POWER HT-150  
150 kW. Só aquecimento.

**EM QUE CONSISTE A CONDENSAÇÃO**

A condensação é a técnica que permite aproveitar o calor adicional libertado pelos gases da combustão ao passar do estado gasoso ao estado líquido.

O resultado é um processo de combustão de maior rendimento que reduz o consumo de gás, as emissões contaminantes e o custo do combustível.

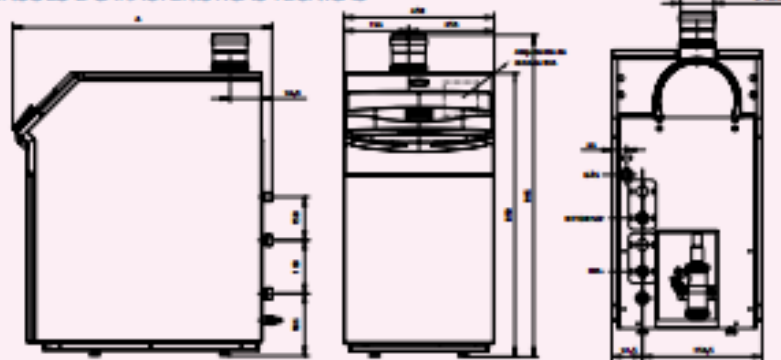
Calor que só é aproveitável através de um processo de condensação, o que permite aumentar o rendimento da caldeira.



Figura C.1: Características das caldeiras pag 1

CALDEIRAS DE CHÃO DE  
CONDENSAÇÃO POWER HT

### DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



Modelo	Potência em 80/10°C	Potência em 10/10°C	Cabo A	Rendimento em 80/10°C	Capacidade de Água	Peso aprox.	Unidade de gás	Unidade de óleo	Unidade de nitrogênio	Carga de explosão (°)
	lit	lit	mm	(%)	litros	Kg				
POWER H7-85	85	116	801	126,1	13,7	76	3/8"	1"	1"	850
POWER H7-100	100	127,8	871	126,5	21	85	1"	1 1/8"	1 1/8"	850
POWER H7-120	120	128,7	1206	126,3	23,3	96	1"	1 1/8"	1 1/8"	850
POWER H7-180	180	162,0	1382	126,2	28,3	101	1"	1 1/8"	1 1/8"	850

Categorias Power HT montadas em caixas	Painéis módulos em 10x a 30,5/50				22 Telemódulos para o sistema de fúrnas				Cabo de equilíbrio (7)			
	Power HT 86	Power HT 120	Power HT 126	Power HT 150	Power HT 86	Power HT 120	Power HT 123	Power HT180	Power HT 86	Power HT 120	Power HT 126	Power HT 150
2 MÓDULOS	170	200	240	320	180	160	160	180	160	160	160	160
3 MÓDULOS	268	320	360	450	180	200	200	-	160	160	160	160
4 MÓDULOS	360	420	480	600	200	200	-	-	160	160	160	160
5 MÓDULOS	426	500	600	750	-	-	-	-	160	160	160	160

Nota: A distância entre os módulos, quando montados em bancada, é de 2 cm. Fluxo gasoso total superior a 400l/h; a evasuação de fumaça deve efectuar-se com 2 exaustores.

[7] [Machado, RSCA - TheBible.org](#)

Dados / Parâmetros comuns a todos os modelos	
Resistência máxima à pressão	100 MPa segundo DIN 4762
Plastificação de aquecimento	Modulando entre 50 e 120%
Sistema de regulação	Eletrônica
Quadro de comando	Digital
Aquecimento	Eletrônica automática
Controle de chama	Sonda de temperatura
Pressão máxima da rede de aquecimento	4 bar
Temperatura de regulação	25° - 80°C
Emissões acústicas	Classe B
Nível CO	≤ 26 mg/L/h
Nível NO <sub>2</sub>	≤ 39 mg/L/h (classe B)
Pressão estática	16 bar
Alimentação elétrica	monofásica 230 V 50 Hz

Baxi - Sistemas de Aquecimento, Unipessoal, Lda  
Campa Grande, 86 - 169 0-7 700-087 Lisboa  
Tel. +351 217 981 200 | Fax. +351 217 983 006  
[www.baxi-aquecimento.com](http://www.baxi-aquecimento.com)

A BAXI GROUP company



#### ASSISTÊNCIA TÉCNICA A CLIENTES

Formada por especialistas altamente qualificados,  
para atender em qualquer parte do país.

**FORMA DE FORNECIMENTO**

As caletillas são formadas num único volume, completamente maciças e prismáticas, de 13x13x13 cm.

CONFORMING AS DESIRED

75/215/CIE de Física Teórica,  
88/138/CIE de Compatibilidade Electromagnética,  
92/42/CIE de Mecânica,  
90/105/CIE de Matemática 3 e 4.

Dimensões normalizadas em mm, características técnicas e prestações técnicas/valores de variação sem aviso prévio. Ambientes reproduzidos simulando das condições de instalação.



Figura C.2: Carateristicas das caldeiras pag 2

## Combustível gás

### Caldeiras murais electrónicas.

#### Características básicas Gama BIOS (Condensação)

Características Básicas Gama BIOS (Condensação)								
Modelo	Potência útil de Aquecimento Central		Capacidade do depósito acumulador	So Aquecimento Central	Mista acumulação	Combustão estanque	Classe NO <sub>x</sub>	IP X 50
	kcal/h	KW						
Aquecimento Central e Água Quente Sanitária por acumulação								
BIOS 45 F	12.470 / 38.700	14,5 / 45	60 a 500	*	*	*	CL5	*
BIOS 65 F	16.598 / 55.900	19,3 / 65	60 a 500	*	*	*	CL5	*
BIOS 85 F	22.102 / 73.100	25,7 / 85	60 a 500	*	*	*	CL5	*
BIOS 100 F	24.940 / 87.720	29,0 / 102	60 a 500	*	*	*	CL5	*

#### Características básicas Gama NOVANOX (Baixo NOx)

Características básicas gama NOVANOX (Baixo NOx)									
Modelo	Potência útil de Aquecimento Central		Potência útil A.Q.S.		Caudal instantâneo de A.Q.S.	Mista instantânea	Combustão estanco	Classe NO <sub>x</sub>	IP X 50
	kcal/h	KW	kcal/h	KW	l/min (Δt=25 °C)				
Aquecimento Central e Água Quente instantânea									
NOVANOX 24/24 F	9.202 / 20.640	10,7 / 24	20.640	24	13,8	*	*	CL5	*
NOVANOX 28/28 F	9.202 / 24.080	10,7 / 28	24.080	28	16,0	*	*	CL5	*

#### Características básicas Gama LAURA (Micro-acumulação eficiente)

Modelo	Potência útil de Aquecimento Central		Potência útil A.Q.S.		Caudal instantâneo de A.Q.S.	Capacidade do depósito acumulador	Mista Instantânea	Mista acumulação	Combustão estanco	Tiragem forçada	Programador	Classe NO <sub>x</sub>	IP 44
	kcal/h	KW	kcal/h	KW	l/min (Δt=25 °C)	Litros							
Aquecimento Central e Água Quente Instantânea													
LAURA 20/20	7.000 / 20.000	8,1 / 23,3	20.000	23,3	13,4	*	*				*	CL2	*
LAURA 20/20 F	7.000 / 20.000	8,1 / 23,3	20.000	23,3	13,4	*	*	*			*	CL3	*
LAURA 20/20 T	7.000 / 20.000	8,1 / 23,3	20.000	23,3	13,4	*	*		*		*	CL2	*
LAURA 35/35	8.000 / 30.000	9,3 / 35,0	30.000	35,0	20,1	*	*				*	CL2	*
LAURA 35/35 F	8.000 / 30.000	9,3 / 35,0	30.000	35,0	20,1	*	*		*		*	CL3	*
Aquecimento Central e Água Quente Sanitária por acumulação													
LAURA 20 A	7.000 / 20.000	8,1 / 23,3	*	*	-	60 a 500	*	*			*	CL2	*
LAURA 20 AF	7.000 / 20.000	8,1 / 23,3	*	*	-	60 a 500	*	*	*		*	CL3	*
LAURA 35 A	8.000 / 30.000	9,3 / 35,0	*	*	-	60 a 500	*	*	*		*	CL2	*
LAURA 35 AF	8.000 / 30.000	9,3 / 35,0	*	*	-	60 a 500	*	*	*	*	*	CL3	*

Figura C.3: Carateristicas das caldeiras pag 3

# Referências

- [1] Insider Pro. A população do Mundo em 2100. 2015. URL: <https://insider.pro/pt/article/43199/>.
- [2] Enerdata. Global Energy Statistical 2016, 2016. URL: <https://yearbook.enerdata.net/>.
- [3] BP. BP Statistical Review of World Energy. 2016. URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>.
- [4] Eurostat. Eurostat. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>.
- [5] Manuel Ferreira, De Oliveira, e Presidente Executivo. O panorama da energia e suas implicações na estratégia das empresas. 2012. URL: <http://www.aese.pt/content/files/Panorama{ }da{ }Energia{ }e{ }estratgia{ }das{ }empresas{ }MFoliveira{ }1205.pdf>.
- [6] Apren. Produção de eletricidade renovável. URL: <http://www.apren.pt/pt/dados-tecnicos-3/dados-nacionais-2/producao-2/a-producao-de-electricidade-em-portugal-3/producao-de-eletricidade-pre-renovavel/>.
- [7] Armínio Teixeira. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS INSTALAÇÕES DE ILUMINAÇÃO. 2003. URL: <http://www.altercexa.eu/images/archivos/EFIC{ }ENERGET{ }INST{ }ILUM.pdf>.
- [8] GUIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.
- [9] Armínio Teixeira. Eficiência Energética da Instalações de Iluminação. URL: <http://www.altercexa.eu/images/archivos/EFIC{ }ENERGET{ }INST{ }ILUM.pdf>.
- [10] Ren21. Renewables 2015 Global Status Report. Relatório técnico, 2015. URL: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/GSR2015{ }KeyFindings{ }lowres.pdf>.
- [11] Portal das Energias Renováveis - imagem. Constituição Sistema Fotovoltaico. URL: <http://www.portal-energia.com/dimensionamento-do-controlador-de-carga-para-um-sistema-solar/> [último acesso em 07-03-2016].
- [12] Maryan D'Ávila Bartels. Aumenta consumo mundial de combustíveis fósseis, 2013. URL: <http://www.dw.com/pt/aumenta-consumo-mundial-de-combust{ }C3{ }ADveis-f{ }C3{ }B3sseis/a-16654031>.

- [13] Adene. A Energia em Portugal. URL: <http://www.energiaportugal.pt/pt/energia-em-portugal> [último acesso em 03-03-2016].
- [14] Parque Escolas. Missao e objetivos. 2016. URL: <http://www.parque-escolar.pt/pt/empresa/missao-e-objetivos.aspx>.
- [15] E.P.E Parque Escolar. Portal Parque Escolar. URL: <http://www.parque-escolar.pt/pt/empresa/missao-e-objetivos.aspx>.
- [16] Manvia. Manvia - 15 Anos na Expansao do Seu Negocio 1998/2013. Relatório técnico, Manvia, 2013. URL: [www.manvia.pt](http://www.manvia.pt).
- [17] Worldometers. Current World Population, 2016. URL: <http://www.worldometers.info/world-population/>.
- [18] Centro Regional de Informação das Nações Unidas. ONU projeta que população mundial chegue aos 8,5 mil milhões em 2030. *Centro de Notícias da Onu*, 2015. URL: <http://www.unric.org/pt/actualidade/31919-onu-projeta-que-populacao-mundial-chegue-aos-85-mil-milhoes-em-2030>.
- [19] International energy Agency. World Energy Outlook - Parliamentary Days 2014, 2014. URL: <http://www.slideshare.net/OECD/parliamentary-days-2014-world-energy-outlook>.
- [20] Geo Portugal. Recursos energéticos. URL: <http://pt.slideshare.net/susybarreiros/recursos-energticos-55526818>.
- [21] DGEG. Evolução da Dependência Energética. URL: <http://www.dgeg.pt/>.
- [22] APREN. Evolução da taxa de dependencia energetica, 2014. URL: <http://www.apren.pt/pt/dados-tecnicos-3/dados-nacionais-2/resumo-do-estudo-impacto-macroeconomico-do-setor-da-eletricidade-de-origem-renov-impacto-na-dependencia-energetica-2/evolucao-da-taxa-de-dependencia-energetica/>.
- [23] Direção Geral de Energia e Geologia. Balanço energetico 2014. 2014. URL: [http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/dgeg/{\\_}balanco/{\\_}sintetico/{\\_}2014/{\\_}1436461747.pdf](http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/dgeg/{_}balanco/{_}sintetico/{_}2014/{_}1436461747.pdf).
- [24] HELENA GERALDES. Governo diz que Portugal pode reduzir CO2 em 60% até 2050. 2012. URL: <https://www.publico.pt/ciencia/noticia/estudo-a-40-anos-revela-que-portugal-pode-reduzir-60-das-emissoes-poluentes-1553>.
- [25] *Environment - Sustainable Development*. ec.europa.eu. URL: <http://ec.europa.eu/environment/eussd/>.
- [26] European Commission. Sustainable Development, 2015. URL: <http://ec.europa.eu/environment/eussd/>.
- [27] Wikipedia. Desenvolvimento sustentável. URL: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Desenvolvimento/{\\_}sustent/{\\_%}C3{%}Alvel](https://pt.wikipedia.org/wiki/Desenvolvimento/{_}sustent/{_%}C3{%}Alvel).
- [28] Lu% C3 s Mesquita% 3B Nuno Gouveia. *Mercado de Carbono*. Janeiro 2011. URL: [http://www.marcasepatentes.pt/files/collections/pt/{\\_}PT/1/300/302/MercadodoCarbono.pdf](http://www.marcasepatentes.pt/files/collections/pt/{_}PT/1/300/302/MercadodoCarbono.pdf).

- [29] Osram. Manual luminotécnico prático. 2005.
- [30] Voltimum. Uniformidade de iluminação. URL: <http://www.voltimum.pt/glossary/uniformidade-de-iluminacao>.
- [31] Capítulo. Introducción a los Balastros Electrónicos.
- [32] Hager. Automáticos de escada. URL: <http://www.hager.pt/produtos-e-catalogue/aparelhagem-mural-+-automatismos/gestao-de-iluminacao/automaticos-de-escada/4281.htm>.
- [33] Coel. Interruptor horario. URL: <http://www.coel.com.br/pdf/Manual-de-Instrucoes-RTM{ }RTL{ }RTQD{ }RTQDL-rev.8.pdf>.
- [34] Guilherme santos. sensor de luminosidade crepuscular. URL: <http://eletronicaemcasa.blogspot.pt/2013/08/sensor-de-luminosidade-crepuscular.html>.
- [35] José Marques. Manutenção de Uma Instalação de AVAC das Áreas Limpas de Uma Indústria Farmacêutica. 2005.
- [36] Fernando Marques e Da Silva. AÇÃO DO VENTO.
- [37] ERSE. Entidade Reguladora dos serviços energeticos. URL: <http://www.erse.pt/pt/Paginas/home.aspx>.
- [38] ERSE. Eletricidade: Mercado liberalizado atinge os 4,45 milhões de clientes e tem um novo comercializador. URL: <http://www.erse.pt/pt/imprensa/noticias/2016/Paginas/EletricidadeMercadoliberalizado{ }fev2016.aspx>.
- [39] WiseGEEK. What Is Rate Regulation? URL: <http://www.wisegeek.com/what-is-rate-regulation.htm>.
- [40] ERSE. TARIFAS E PREÇOS PARA A ENERGIA ELÉTRICA E OUTROS SERVIÇOS EM 2016. URL: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2016/Documents/TarifasePre{ }C3{ }%A7os2016{ }Final.pdf>.
- [41] ERSE. Períodos horários, 2016. URL: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/paginas/default.aspx>.
- [42] Wikipedia-painel. Aquecimento solar. URL: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Aquecimento{ }solar> [último acesso em 07-03-2016].
- [43] NeoSolar Energia. Energia Solar Fotovoltaica. URL: <http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica> [último acesso em 06-03-2016].
- [44] Portal das Energias Renovaveis - Celulas. Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares. URL: <http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituientes-de-paineis-solares/> [último acesso em 06-03-2016].
- [45] Site wikipedia. Growth of photovoltaics. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Growth{ }of{ }photovoltaics> [último acesso em 28-02-2016].

- [46] Bloomberg News. China Targets 70 Gigawatts of Solar Power to Cut Coal Reliance, 2014. URL: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2014-05-16/china-targets-70-gigawatts-of-solar-power-to-cut-coal-reliance> [último acesso em 02-03-2016].
- [47] Joshua S Hill. Global Solar PV Installed Capacity Expected To Reach 652 GW By 2025. *clean Technica*, 2015. URL: <http://cleantechnica.com/2015/09/01/global-solar-pv-installed-capacity-expected-reach-652-gw-2025-globaldata/> [último acesso em 01-03-2016].
- [48] Ordenamento do Território e Energia Ministério do Ambiente. Decreto-Lei nº 153/2014 de 20 de outubro. *Diário da República*, páginas 5298–5311, 2014. URL: <http://www.solarwaters.pt/images/Autoconsumo/dlautoconsumo.pdf>.
- [49] Portal das Energias Renováveis. Estado em Portugal - Actualidade: Solar Térmico. URL: [http://energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID{\\_}conteudo=47{&ID{\\_}area=8{&ID{\\_}sub{\\_}area=27](http://energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID{_}conteudo=47{&ID{_}area=8{&ID{_}sub{_}area=27) [último acesso em 27-02-2016].
- [50] Florida Solar Energy Center. How a PV system works. URL: [http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar{\\_}electricity/basics/how{\\_}pv{\\_}system{\\_}works.htm](http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar{_}electricity/basics/how{_}pv{_}system{_}works.htm) [último acesso em 10-03-2016].
- [51] DomoSolar. O que é um painel fotovoltaico, 2011. URL: <http://www.domosolar.net/domotica/o-que-e-um-painel-fotovoltaico/> [último acesso em 09-03-2016].
- [52] *Planning and Installing Photovoltaic Systems. A guide for installers, architects and engineers.*
- [53] ECycle. Componentes do sistema solar fotovoltaico: controladores de carga. URL: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3385-controladores-carga-solar-termica-fotovoltaicas-como-funciona-captacao-kit->